

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



Facultad de electrotecnia y computación

Trabajo de fin de carrera

Para obtener el título de:

Ingeniero Electrónico

Implementación de guías de laboratorio para realizar mediciones y análisis de eventos en la banda de 850 Mhz de la tecnología WCDMA

Autor:

Br. Kevin Ariel Reyes Bellorin

Tutor:

TeknL. Norman Vargas Chevez

Managua, Nicaragua

23 de Octubre del 2016

Dedicatoria

Dedico esta tesis monográfica primeramente a Dios por la sabiduría y fuerzas que me dió para terminar este trabajo.

También dedico esta tesis monográfica a mis padres que me brindaron su apoyo incondicional y desinteresado todos los días que fueron necesario para terminar este trabajo.

Así mismo dedico esta tesis a mi tutor el cual me guió pacientemente, brindándome su tiempo y conocimientos para la culminación de este trabajo.

Por ultimo dedico este trabajo a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente a las cuales les realice consultas sobre términos o uso de las herramientas utilizadas en esta tesis monográfica.

Resumen

El rápido crecimiento de las comunicaciones móviles ha obligado a las operadoras celulares realizar constantes cambios a su red para ello se necesitan herramientas que le permitan saber cómo están los niveles de cobertura y calidad, una de estas herramientas es Netimizer la cual está compuesta por Diagnostic Monitoring and Logging (DML), utilizado para Drive test, Diagnostic Monitoring and Analysis (DMA) y Actix Analyzer, utilizados para el Post proceso.

DML y DMA son parte del software Netimizer y Analyzer es parte de software Actix ambos son empleados para diversos servicios como: Initial Tuning Service (ITR), benchmarking, rehomeing, planificación de frecuencia, planificación de primary scrambling code, optimización de las redes celulares que necesiten la planificación y optimización de su red para mejorar su competitividad, agregar valor y reducir los costos.

Pero en la actualidad la Universidad Nacional de Ingeniera UNI no cuenta con guías de laboratorio dirigidas a estudiantes de pregrado para el uso del software por lo tanto este documento está dirigido a la implementación de 10 guías de laboratorio para realizar mediciones y análisis de la tecnología WCDMA, de esta forma contribuir al proceso de enseñanza de la UNI.

Lista de Figuras

Figura 1 Equipos para un DT	12
Figura 2 Asignación de PSC	15
Figura 3: Handover	15
Figura 4: Pilot Pollution	17
Figura 5: Asignación de azimut	18
Figura 6: Tilt Mecánico	18
Figura 7: Tilt Eléctrico	19
Figura 8 Árbol de código de canalización WCDMA [17]	22
Figura 9 Canales de WCDMA [13]	23
Figura 10 Macrodiversidad WCDMA	24
Figura 11 Rake Receiver WCDMA	24
Figura 12 Arquitectura de la RED WCDMA	25
Figura 13 Core Network WCDMA	27
Figura 14 Relaciones de vecinas	31
Figura 15 Auditoria Física	37
Figura 16 Equipos para DT Outdoor	42
Figura 17 Sectores Cruzados.....	42
Figura 18 Sectores Rotados.....	43
Figura 19 DT Outdoor	43
Figura 20 DT Indoor	44
Figura 21 Sobre Propagación	47
Figura 22 Niveles Outdoor de RSCP para la operadora Claro	49
Figura 23 Niveles Outdoor de EcNo para la operadora Claro.....	49
Figura 24 Niveles Outdoor de RSCP para la operadora Movistar	50
Figura 25 Niveles Outdoor de EcNo para la operadora Movistar.....	50
Figura 26 Niveles Indoor de RSCP para la operadora Claro	51
Figura 27 Niveles Indoor de Ec/Io para la operadora Claro	52
Figura 28 Niveles Indoor de RSCP para la operadora Movistar	52
Figura 29 Niveles Indoor de Ec/Io para la operadora Claro	53
Figura 30 Pregunta de encuesta 1	56
Figura 31 Pregunta de encuesta 2	57
Figura 32 Pregunta de encuesta 3	57
Figura 33 Pregunta de encuesta 4	58
Figura 34 Pregunta de encuesta 5	58
Figura 35 Pregunta de encuesta 6	59

Índice

1. Capítulo I: Introducción	7
1.1 Introducción:	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Antecedentes	9
1.4 Justificación	10
1.5 Objetivo General	11
1.6 Objetivos Específicos	11
1.7 Marco Teórico	12
2. Capítulo II: Tecnologías Celulares	20
2.1 Introducción	20
2.2 Tercera Generación (3G)	21
2.3 Arquitectura de la red 3G:	25
2.4 Categorías de teléfonos móviles:	27
2.5 Frecuencia de operación:	29
3. Capítulo III: Auditoria de la red WCDMA	30
3.1 Inducción:	30
3.2 Auditorias lógicas:	30
3.3 Auditorias físicas:	36
4. Capítulo IV: Mediciones de Campo	38
4.1 Introducción:	38
4.2 Herramientas para un DT:	38
4.3 Tipos de mediciones:	39
4.4 Tipos de DT:	41
4.5 Post proceso:	45
4.6 Reporte:	46
5. Capítulo V: Validación de las Guías de laboratorio	54
5.1 Introducción:	54
5.2 Estructura de las guías:	54
5.3 Encuesta	56
5.4 Observaciones y recomendaciones de las guías:	60

5.5 Conclusión	61
5.6 Recomendaciones	62
Referencias	63
Anexos:	65



1. Capítulo I: Introducción

1.1 Introducción:

El presente documento tiene como fin el diseño de guías de laboratorio que facilite el proceso de aprendizaje práctico en el área de telefonía celular a los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica y telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua (UNI).

Estas guías de laboratorio tienen la finalidad de contribuir al proceso de enseñanza aprendizaje en la UNI a través de la formación de profesionales en el campo de la tecnología celular 3G en el área de mediciones de campo con Diagnostic Monitoring and Logging (DML) y en el post procesamiento de los logs obtenidos con DML a través de Diagnostic Monitoring and Analysis (DMA) & Actix Analyzer.

DML y DMA son parte del software Netim�er y Analyzer es parte de software Actix ambos son empleados para diversos servicios como: Initial Tuning Service (ITR), benchmarking, rehomíng, planificación de frecuencia, planificación de primary scrambling code, optimización de las redes celulares que necesiten la planificación y optimización de su red para mejorar su competitividad, agregar valor y reducir los costos.

Las guías de laboratorios que se proponen en este trabajo monográfico se enfocara en dos áreas: recolección de datos y análisis de los datos recolectados para la tecnología de telefonía celular en 3G. Las primeras guías de laboratorios estarán orientadas al uso de DML para recolectar datos y posibles fallas que pueden ocurrir en campo durante las mediciones. La segunda parte de las guías de laboratorios estarán orientadas al uso de DMA & Actix Analyzer para el procesamiento de logs obtenidos.



1.2 Planteamiento del problema

Los operadores de telefonía celular en Nicaragua requieren de los servicios de Ingenieros en Radio Frecuencia (RF) para realizar trabajos de recolección de datos y análisis de los datos recolectados de las redes de telefonía celular en las tecnologías: GSM, WCDMA y LTE.

Actualmente existe un vacío práctico para la realización de mediciones de campo y procesamiento de los logs para las tecnologías GSM, WCDMA y LTE en la enseñanza en el área de comunicaciones inalámbricas y en particular de la telefonía celular en pregrado en las Universidades de Nicaragua.

De lo anteriormente expuesto en el presente trabajo se propone la elaboración de guías de laboratorios para realizar mediciones de campos en la banda de 850 Mhz y 1900 Mhz de la tecnología celular WCDMA en las redes de ambiente indoor y outdoor. Además se propone la elaboración de guías de laboratorios para procesar y analizar los eventos a partir de los obtenidos de las mediciones de campo en la banda de 850 Mhz y 1900 Mhz.



1.3 Antecedentes

Se han realizado varios trabajos que anteceden nuestro objeto de estudio “Implementación de guías de laboratorio para realizar mediciones y análisis de eventos en la banda de 850 Mhz y 1900 Mhz de la tecnología WCDMA” donde se mencionan los siguientes:

El profesor PhD. Marvin Sánchez de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua elaboró manual de laboratorio para realizar mediciones en modo idle y modo dedicado utilizando Netim�er DML para estudiantes de post grado, las cuales consisten en hacer mediciones de campo para la tecnología GSM.

El profesor MSC. Oscar Napoleón Escocia de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua realizó como tesis monográfica de maestría, Radiaciones No-Ionizantes y la salud desde la perspectiva de la sociedad Nicaragüense, en el cual realizó mediciones de campo para medir la intensidad de radiaciones No-Ionizantes para dar a conocer los niveles de intensidad de radiación generado por los diferentes sistemas de comunicaciones existentes en Nicaragua.



1.4 Justificación

Actualmente no existe guías de laboratorios en la UNI en las clases de: radio comunicaciones y comunicaciones móviles para las carreras de ingeniera en electrónica y telecomunicaciones respectivamente, para la recolección y el post procesamiento de los logs recolectados para los servicios en modo: Idle, llamada continua, llamada periódica, llamada de datos (Bajada y subida) en las bandas de 850Mhz y 1900Mhz para la tecnología celular WCDMA.

El manual de laboratorio elaborado por el profesor PhD. Marvin Sánchez se enfoca hacer mediciones para la tecnología 2G y no aborda los servicios para la tecnología WCDMA y el manual está dirigidas para estudiantes de post grado.

La tesis elaborada por el profesor Msc. Oscar Napoleón muestra los resultados de las mediciones, pero no muestra cómo se realizó la configuración del software para realizar las mediciones de campo y no explica el procedimiento a seguir para procesar los logs obtenidos de las mediciones de campo.

Estas guías de laboratorio se diseñaron con la finalidad de entrenar a los estudiantes de pregrado de electrónica y telecomunicaciones para realizar trabajos de recolección de datos con DML y análisis de los eventos de los datos recolectados. Hemos seleccionado Netimizer como herramienta para recolección y post procesamiento de datos por que las licencias de Netimizer fue adquirido por la FEC aproximadamente hace cinco años y no se ha empleado a nivel de pregrado en prácticas de laboratorios para complementar el proceso de aprendizaje en los estudiantes de la carrera de Ing. Electrónica en asignaturas como radio comunicaciones móviles.



1.5 Objetivo General

Implementar guías de laboratorio para medir y analizar los eventos en la banda de 850 Mhz y 1900 Mhz de la tecnología WCDMA en redes de ambiente Indoor y Outdoor.

1.6 Objetivos Específicos

1. Realizar mediciones en ambientes Indoor y Outdoor con la herramienta Netimizer DML para los servicios en modo Idle, Long Call, Short Call, DL (Bajada de Datos) y UL (Subida de Datos).
2. Procesar los logs obtenidos de las mediciones Indoor con la herramienta Netimizer DMA para identificar los niveles de cobertura y calidad durante dichas mediciones.
3. Procesar los logs obtenidos de las mediciones Outdoor con la herramienta Actix Analyzer para analizar los eventos que causan las degradaciones de cobertura y calidad.
4. Validar las guías de laboratorios mediante encuestas a alumnos de 4to y 5to año de la carreras de ingeniería electrónica y telecomunicaciones con el fin de evaluar el entendimientos de los estudiantes a dichas guías.

1.7 Marco Teórico

Laboratorio: Es un lugar físico dotado por medios necesarios para llevar a cabo experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico y tecnológico. Es muy común que las escuelas, universidades o cualquier otro reducto académico cuenten con un laboratorio en el cual se dictarán clases prácticas u otros trabajos relacionados exclusivamente con un fin educativo [1].

Guía de laboratorio: Es un documento que explica de una manera clara los pasos que se tienen que seguir para la realización de la práctica de laboratorio [1].

Initial Tuning Report (ITR): Es el proceso o mecanismo que se realiza en un sitio con el objeto de verificar la correcta operación del servicio celular y proveer al operador con la posible identificación de problemas. El ITR se realiza antes del lanzamiento comercial del Nodo B con el objeto de identificar y corregir problemas a través ajuste como: revisar parámetros lógicos o físicos y se hacen mediciones de campo para verificar que opere de manera adecuada y no interfiera al resto de sitios en la zona y proceder a realizar un reporte [2].

Drive Test (Mediciones de campo): El DT es una prueba que se realiza para la recolección de datos mediante un software que tiene la capacidad de grabar todos los parámetros y señalización que un teléfono o más dispositivos que estén interactuado con el programa, se hacen dos tipos de DT: Indoor (interiores) y Outdoor (exteriores) [3], en la figura 1 se puede observar los equipos utilizados para un DT.

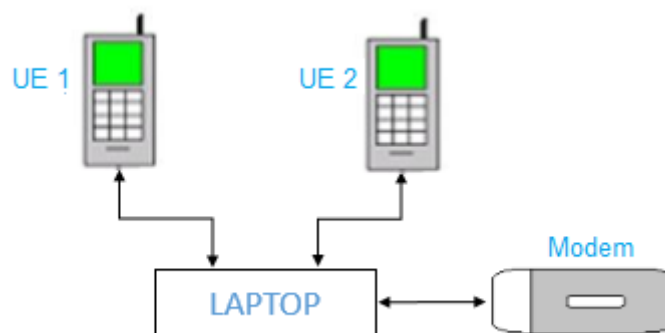


Figura 1 Equipos para un DT



Netimizer: Es un software que permite medir los niveles señal y de calidad de los operadores de una red inalámbrica, permite hacer pruebas en los servicio de llamada continua, periódica, Idle (desocupado) y servicios de datos tanto en bajada como subida.

Netimizer está compuesto por el software **DML** y **DMA**:

- Netimizer DML (Interfaz de aire Herramienta de Registro)

DML registra datos de interfaz de aire tomadas durante una prueba de campo en una computadora portátil [4].

- Netimizer DMA (Herramienta de análisis del interfaz de aire)

DMA proporciona un análisis en profundidad de los datos recolectados en la prueba de campo para ser procesados en una computadora [4].

Actix Analyzer: Actix Analyzer es una herramienta de escritorio para el manejo experto de post procesamiento, en apoyo a la optimización y en la solución de problemas de la red a nivel Outdoor [5].

Red Indoor: Indoor significa literalmente dentro de la puerta ó sobre la puerta, lo que se puede entender como interior. Una red Indoor inalámbrica es aquella que cuenta con una interconexión de diferentes equipos relativamente cercanos, sin necesidad de cables, estas redes funcionan a base de ondas de radio específicas para proveer una señal de una red [6].

Red Outdoor: Outdoor significa literalmente fuera de la puerta, lo que se puede entender como exterior. Una red Outdoor inalámbrica es aquella que cuenta con una interconexión de diferentes equipos relativamente lejanos, sin necesidad de cables, estas redes funcionan a base de ondas de radio específicas para proveer una señal de una red [6].



Llamada continúa: Es cuando el terminal móvil (celular) va realizando una llamada sin interrupciones [7].

Llamada periódica: Es cuando un terminal móvil va haciendo varias llamada cortas por ejemplo: Llama durante 30 segundos corta la llamada espera 30 segundos y vuelve a llamar y va repitiendo este mismo ciclo varias veces [7].

Idle: Es cuando el terminal móvil está desocupado simplemente va monitoreando los Scrambling Code y que se vayan haciendo los handover correctamente entre los Nodo B [8].

Bajada de Datos (DL): Es cuando el terminal móvil está bajando datos de la red ya sea una red social, una página de internet etc [7].

Subida de Datos: Es cuando el terminal móvil está subiendo datos a la red [7].

Primera portadora: Es el término que se le da a la frecuencia de los 850Mhz [2].

Segunda portadora: Es el término que se le da a la frecuencia de los 1900Mhz [2].

Tercera generación (3G): Se la denomina 3G a la tecnología desarrollada por 3GPP (3rd Generation Partnership Project) con el fin de tener un sistema verdaderamente global. Las redes móviles de tercera generación tienen como objetivo ofrecer a los suscriptores datos de alta velocidad y conectividad multimedia, mejorando la calidad de imagen y video y aumentando las tasas de datos dentro de redes públicas y privadas [9].

Primary Scrambling Code: El PSC es el código utilizado para la identificación de cada uno de los sectores de un Nodo B normalmente esa separación debe de ser de 8 dígitos entre los sectores del mismo Nodo B para evitar interferencias por código [2].

En la figura 2 el triángulito más grande representa la primera portadora y el más pequeño la segunda, ambas portadoras pueden tener el mismo PSC [2].

El número de PSC es limitado de 0 a 511 por lo tanto se hace rehusó de código [2].

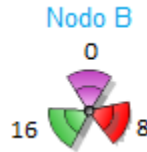


Figura 2 Asignación de PSC

Handover: El significado básico de handover es proveer una conexión continua cuando el terminal móvil se mueve entre los Nodos B o en un nodo B. Para asegurar el correcto funcionamiento del handover de dos sectores lo más importante es: que los Nodos B que constituyen la red, deben superponerse entre ellas en un nivel aceptable; y segundo, debe haber una característica de software que gestione la movilidad [9], en la figura 3 se observa el handover entre dos Nodos B.



Figura 3: Handover

CPICH (Common Pilot Channel): Es una señal piloto constante con un valor aproximado de entre el 5 y 20% del total de la potencia del Nodo B que sirve a los UE para la identificación de los diferentes PSC de cada sector de los Nodos B [3].

UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number): Es número del canal de que se utiliza para identificar el segmento de frecuencia que se está utilizando dentro de una portadora [3].

Hay un canal de bajada llamado UARFCN DL y uno de subida llamado UARFCN UL.

RSSI (Received Signal Strength Indicator): El indicador de intensidad de señal de recibida es una medida en dBm de la señal que llega a la antena antes de la ganancia de procesamiento [3].



RSCP (Received Signal Code Power): Es la potencia recibida por código, y es el que ayuda en gran medida a determinar las capacidades de cobertura de cada sector [3].

$$RSCP \text{ (dBm)} = RSSI \text{ (dBm)} + E_c/N_o \text{ (dB)} \quad (1)$$

E_c/N_o (Energy per chip over the noise): La energía por chip por encima del ruido, una medida de la calidad de la señal, es decir, es el nivel de ruido que recibe el terminal móvil, se trata que este valor este lo más cercano posible a 0 para que la llamada tenga buenos niveles de calidad [10].

$$E_c/N_o \text{ (dB)} = RSCP \text{ (dBm)} - RSSI \text{ (dBm)} \quad (2)$$

Throughput: Es la velocidad promedio de bajada o subida de datos a la red en bits/s [3].

BLER (Block Error Rate): Es el término para la tasa de error de bloque medido en porcentaje. Permite caracterizar la calidad del interfaz de aire [11].

El BLER se calcula como la tasa de radio de bloques transmitidos con respecto al total [11].

$$BLER = \frac{\text{Transmitidos}}{\text{Retransmitidos}} \quad (3)$$

Se trata que este valor sea lo más cercano posible a cero. [11]

CQI (Chanel Quality Indicator): Es el indicador de calidad de los datos de la red. Define el formato de transporte (modulación, tasa de codificación, número de canales físicos, posible reducción de potencia) [12].

El móvil debe elegir el CQI más alto (mayor tasa binaria) que da lugar a un BLER en primera transmisión menor o igual al 10%. [12]

LAC (Location Area Code): Es un código que se utiliza para saber la localización del UE, cada vez que el UE se mueve sobre la red el LAC va cambiando con lo que el operador sabe en la zona en que se encuentra [3].

RAC (Routing Area Code): Es como un análogo de LAC equivalente para el servicio de datos, significa que se esperan más mensajes de búsqueda por móvil, y por lo que vale la pena conocer la ubicación de los móviles con mayor precisión [3].

Pilot Pollution: Es cuando están llegando a más de tres sectores a un UE con buenos niveles de RSCP mayores a -70dBm provocando contaminación en la zona y por consiguiente degradando los niveles de E_c/N_o [2], en la figura 4 se observa un caso de Pilot Pollution.

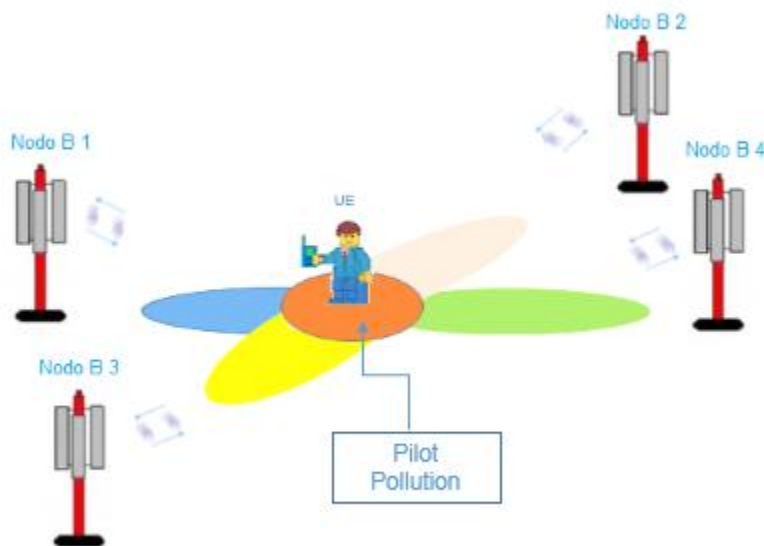


Figura 4: Pilot Pollution

Drop Call: Este tipo de evento negativo ocurre cuando el UE va realizando una llamada y esta se corta [7].

Un drop call puede ocurrir por varias razones: Problemas de Handover, Pilot Pollution, Degradaciones de los niveles de RSCP y E_c/N_o [7].

Setup Fail: Este tipo de evento negativo ocurre cuando un terminal móvil realiza una llamada y no puede acceder a la red, es por esa razón que al momento de realizar un DT se hacen pruebas de llamadas periódicas para medir la accesibilidad.

Las causas de un setup fail pueden ser: Que el Nodo B este saturado y degradaciones de los niveles de RSCP y E_c/N_o [7].

Azimet: Es el ángulo de orientación que tiene la antena, el valor del azimet es medido en grados y el punto que se toma como referencia para iniciar a medir es el norte en cual toma siempre el valor de 0° , el azimet debe indicado depende en qué dirección esta su objetivó de cobertura [2].

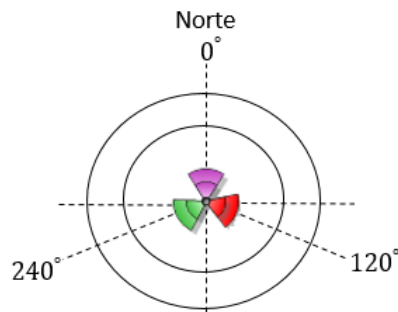


Figura 5: Asignación de azimet

Tilt Mecánico: Es la inclinación que se le da a la antena de manera mecánica con el objetivo de cambiar la dirección del patrón de radiación [2].

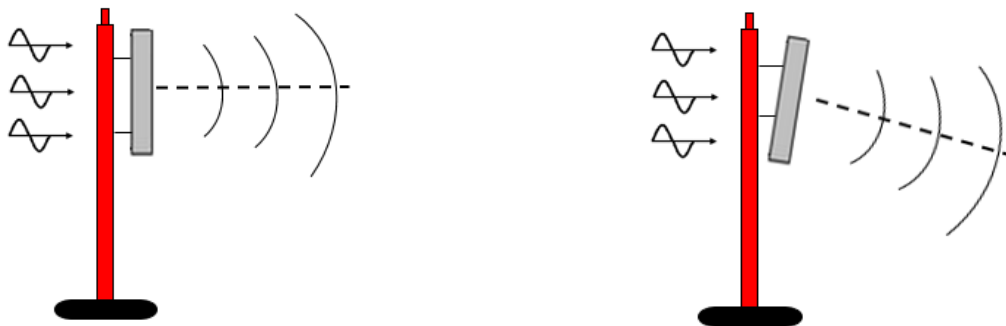


Figura 6: Tilt Mecánico

Tilt Eléctrico: La inclinación eléctrica básicamente trata de modificar el patrón de radiación mediante el cambio de las características de la señal de cada antena. El valor de la inclinación puede ser fijo o variable, sin embargo la mejor opción es utilizar antenas con inclinación eléctrica variable ya que posibilita el ajuste de la distancia y da mayor flexibilidad y facilita al optimizador [2].

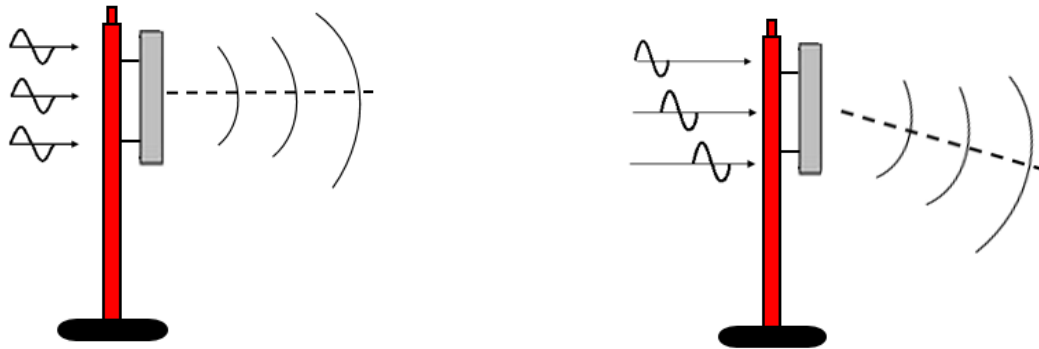


Figura 7: Tilt Eléctrico



2. Capítulo II: Tecnologías Celulares

2.1 Introducción

La telefonía celular se ha convertido en los últimos años en una de las tecnologías más utilizadas a diario por millones de personas alrededor de mundo. Casi treinta años de evolución constante en las comunicaciones personales móviles le han permitido a este dispositivo convertirse en una parte fundamental en el desarrollo cotidiano de cualquier actividad que emprenda el individuo [13].

Las telefonías celulares iniciaron a mediados de los años 80 cuando salió al mercado la primera generación de telefonía celular llamado 1G. Estos teléfonos utilizaban tecnología analógica y terminales pequeños lo que permitía que los usuarios pudieran trasladar sus equipos de comunicación [13].

Luego se conoció como la segunda generación al estándar GSM (Global System for Mobile Communications) porque es la que da el salto de la comunicación analógica a digital, su principal características es soportar velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax, SMS [Short Message Service] y Rehoming [14].

Se conoce como tercera generación de las tecnologías celulares a los estándares UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) y WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) ya que son los sucesores de GSM, sus principales características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada, la cual también le permite transmitir audio y video en tiempo real; y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas [15].



Y por último se conoce como cuarta generación al sistema LTE (Long Term Evolution) fue diseñado por la 3GPP con la idea de incrementar en gran medida las capacidades que ofrecían los sistemas de comunicaciones móviles anteriores. En este sentido, LTE es el primer sistema en ofrecer todos los servicios, incluida la voz, sobre el protocolo IP dejando atrás la conmutación de circuitos para pasar a un nuevo sistema basado completamente en conmutación de paquetes [16].

2.2 Tercera Generación (3G).

En Nicaragua se utiliza el estándar de acceso por división de códigos de banda ancha WCDMA el cual permite que varios usuarios puedan compartir un mismo canal de comunicación; es decir, una gran cantidad de abonados a un servicio móvil comparte un conjunto de canales de radio y cualquier usuario puede optar frente a los demás para acceder a cualquiera de los canales disponible [15].

Esta tecnología emplea una técnica de ensanchamiento (spreading), es decir, la señal de datos es ensanchada para que ocupe todo el ancho de banda asignado para la transmisión. Este ensanchamiento se realiza con un código de ensanchamiento específico para cada usuario, con el cual establece la diferencia entre cada usuario conectado a la red. Además utiliza códigos de canalización son tanto para el enlace subida como para el de bajada, códigos ortonormales con factor extendidos variables (OVSF) estos códigos conservan propiedades de ortogonalidad entre los canales físicos de diferentes usuarios, la creación de dichos códigos se basa en un algoritmo el cual produce arboles de código en donde cada nivel define un código de canalización estos quiere decir que por cada dato de la señal el resultado es que la señal resultante es cuatro veces mayor que la señal original [17], a como se observa en la figura 8.

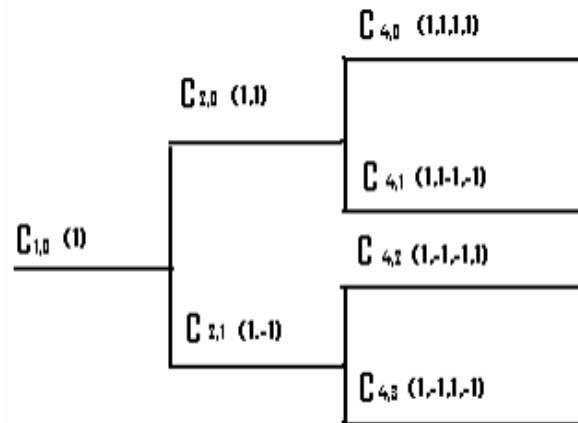


Figura 8 Árbol de código de canalización WCDMA [17]

En 3G cada portadora WCDMA tiene un ancho de banda de 5 MHz. lo cual fue elegido con el fin que permitiera alcanzar velocidades de transmisión desde los 384 Kbps hasta los 2 Mbps dependiendo de las condiciones climáticas [17].

En WCDMA los canales radioeléctricos son los encargados de gestionar el ancho de banda asignado a cada usuario de la red, por medio de éstos se proporcionan funciones de control para el teléfono móvil e información de la aplicación. Hay tres tipos de canales en WCDMA [17].

- a. Canales lógicos:
- b. Canales de transporte
- c. Canales físicos.

Los canales lógicos describen el tipo de información que se transmite; Los canales de transporte describen como se transfieren los canales lógicos y los canales físicos son el medio radioeléctrico por el cual transmiten la información, esto quiere decir, que dentro de los canales físicos se encuentran los canales de transporte. Desde el punto de vista de la red, el nodo B administra los canales físicos ya que se encarga de proveer la interfaz radioeléctrica y el RNC administra los canales de transporte y los canales lógicos [17], en la figura 9 se observan los canales lógicos, transporte y físicos.

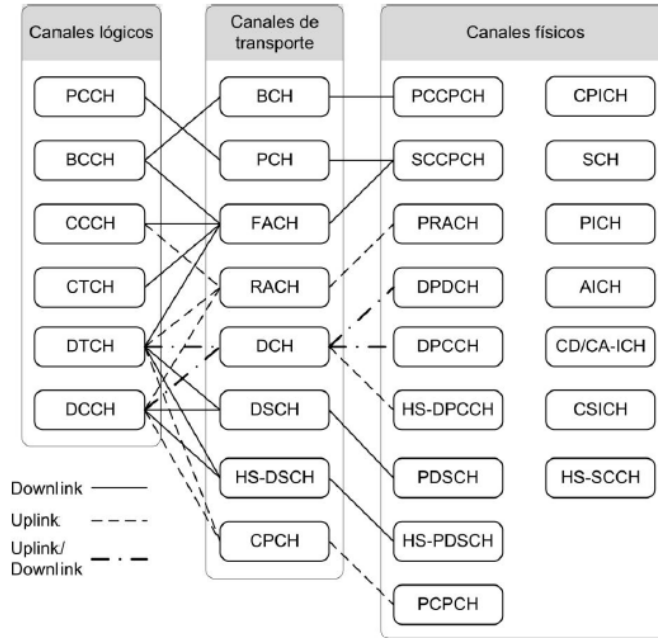


Figura 9 Canales de WCDMA [13]

En WCDMA solo hay una frecuencia para todos los Nodos B debido a que cada sector tiene un código de identificación llamado Primary Scrambling Code (PSC) el cual puede ser el mismo para ambas portadoras y puede ser reutilizado a distancias mayores a 30 kilómetros, esta técnica se le llama reuso de código el cual consiste en evitar que haya dos sectores cercanos con el mismo PSC provocando interferencia por código [15].

Otros parámetros que podemos mencionar de WCDMA son la macrodiversidad y Rake Receiver:

Macrodiversidad: Permite que el terminal móvil pueda estar conectado a varios sectores de forma simultánea, recibiendo datos de diferentes conexiones e incrementando la calidad de comunicación, ya que posee varios caminos reduce la interferencia de cada sector [18], como se observa en la figura 10.

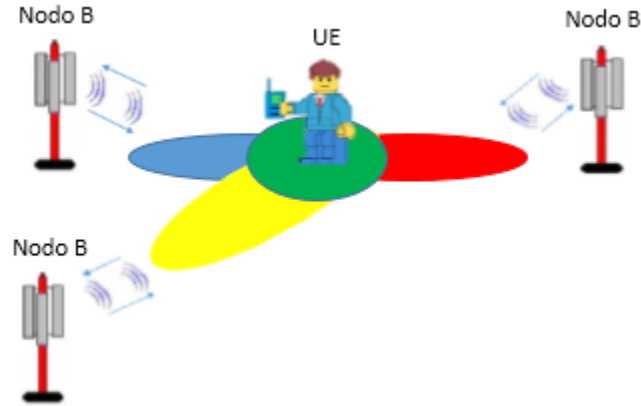


Figura 10 Macrodiversidad WCDMA

Rake Receiver: El rastrillo receptor trata de minimizar los efectos del desvanecimiento de la señal debido a la trayectoria múltiple que sufre cuando viaja debido a que la señal puede ser bloqueada, refleja, refracta y difractada producto de las muchas rutas que puede tomar para llegar al UE [19], a como se observa en la figura 11.

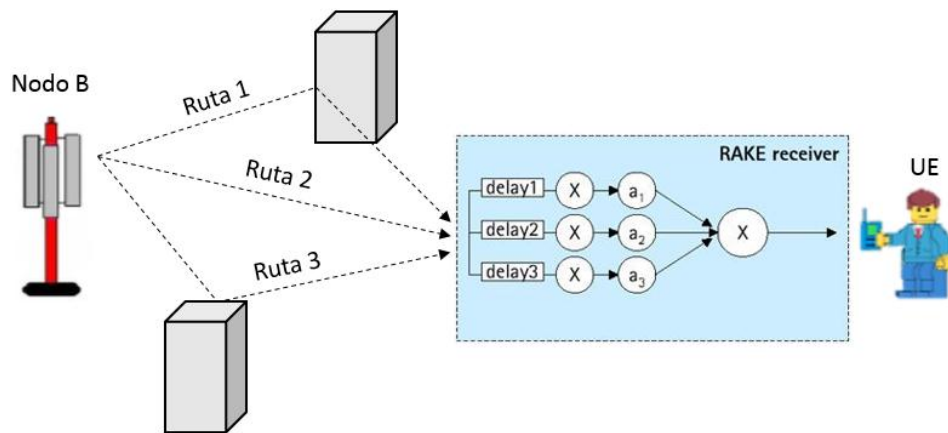


Figura 11 Rake Receiver WCDMA

2.3 Arquitectura de la red 3G:

La red WCDMA se define en cuatro sistemas: UE (User Equipment), Nodo B, RNC (Radio Network Controller): y NC (Core Network) [20] a como se observa en la figura 12:

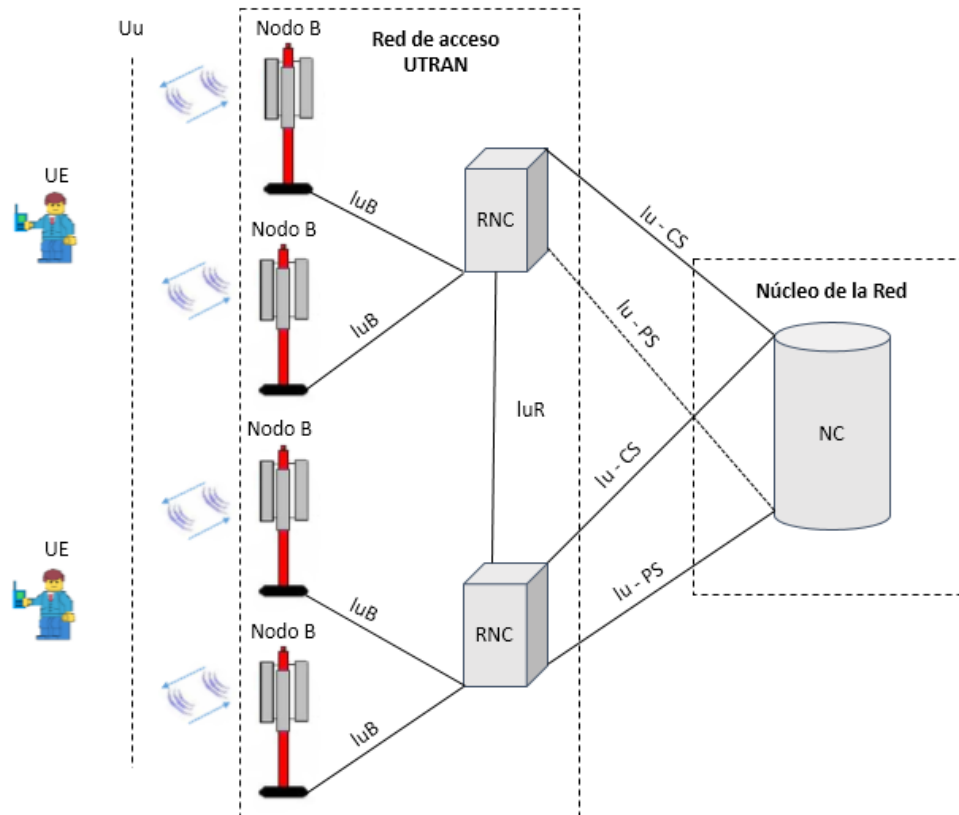


Figura 12 Arquitectura de la RED WCDMA

Las principales interfaces son los siguientes:

- Interfaz Uu: Es el interfaz de radio que se encuentra entre el UE y el Nodo B.
- Interfaz IuB: interfaz entre los Nodos B y el RNC que permite el transporte de las tramas radio hasta el RNC.
- Interfaz IuR: permite la ejecución de traspasos suaves. Proporciona funciones de macrodiversidad.
- Interfaz Iu – PS: se encuentra entre la RNC y la NC. Permite al transporte del Packet Switched.



- e. Interfaz lu – CS: se encuentra entre la RNC y la NC. Permite al transporte del Circuit Switched.

UTRAN: La red acceso de radio consiste de varios elementos, entre los que se encuentran los RNC (Radio Network Controller) y los Nodo B (en UTRAN las estaciones base tienen el nombre de Nodo B) [20].

UE (User Equipment): También llamado terminal móvil es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con un Nodo B en el momento que lo desee en un lugar donde haya cobertura [20]. Entre su funciones esta:

- a. Proveer servicios y registros.
- b. Actualización de la ubicación.
- c. Envío y recepción de servicios con o sin conexión.
- d. Posibilidad de realizar llamadas de emergencia.

Nodo B: El Nodo B es un elemento transceptor, es decir, transmite y recibe señales de radio del UE. Desde el punto de vista del usuario es el encargado de proveer la cobertura de la red [20]. Entre sus funciones está:

- a. Amplificar
- b. Modular
- c. Interfaz a la Red

RNC (Radio Network Controller): La RNC es el encargado de estabilizar el trayecto radioeléctrico y hacer que se cumplan los requisitos de calidad [21]. Entre sus funciones esta:

- a. Control de Handover.
- b. Control de potencia.
- c. Gestión de códigos (PSC).
- d. Posicionamiento del UE.
- e. Tratamiento de la Base de Datos.

NC (Core Network): El NC de WCDMA es la plataforma básica de todos los servicios de comunicaciones que proporciona la red, que incluyen la conmutación



de llamadas por CS Circuit Switched (Conmutación por Circuitos) y el encaminamiento de datos por PS Packet Switched (Conmutación por Paquetes) [21] como se observa en la figura 13.

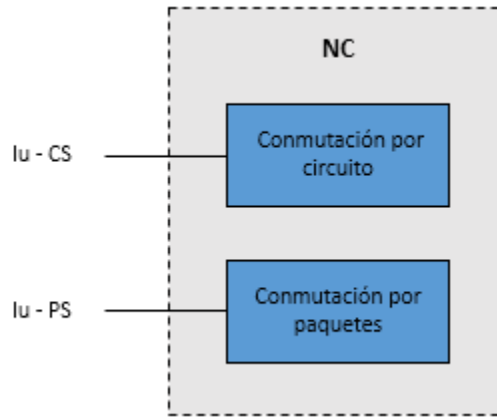


Figura 13 Core Network WCDMA

Entre sus funciones esta:

- a. Gestión de la Movilidad.
- b. Establecimiento de Llamadas y Sesiones.
- c. Autorización de los Servicios.
- d. Información de Seguridad de Usuario.

2.4 Categorías de teléfonos móviles:

La forma más fácil de diferenciar entre tipos de teléfonos móviles por categorías es por sus características. Basándote en ese método, hay dos tipos principales de teléfonos móviles: teléfonos convencionales e inteligentes [22]:

Móvil convencional: Un teléfono móvil convencional está diseñado para en primer lugar ser un teléfono. El teclado y el diseño del teléfono son generalmente similar al de un teléfono tradicional. El software dentro de un teléfono celular convencional es limitado, pero funcional. La mayoría incluyen libretas de direcciones, calendarios, relojes despertadores y otras herramientas básicas para la productividad [22].



Móvil inteligente: Es básicamente un ordenador en miniatura. Aunque todavía se utilizan principalmente para las llamadas telefónicas y mensajes de texto, tienen una multitud de características que van más allá de eso. Un teléfono inteligente puede conectarse a Internet, ya sea a través de una red de telefonía celular o a través de cualquier señal de wi-fi disponible, y se puede utilizar para navegar por Internet, consultar el correo electrónico etc. Los juegos son por lo general más avanzados en los teléfonos inteligentes, al igual que las aplicaciones que permiten a los usuarios comprobar el clima, obtener direcciones, ir de compras y mucho más [22].

Los teléfonos móviles inteligentes se categorizan en 3 grupos: baja, media y alta gama [22].

1. **Gama Baja:** En esta categoría distribuiremos los celulares inteligentes con plataformas que no dan soporte a muchas utilidades que tienen los teléfonos de otras gamas. Sus pantallas son de escasas dimensiones y resolución, poca memoria RAM y mínima capacidad de almacenamiento interno, cámaras VGA, menores herramientas, acceso a redes y aplicaciones, entre otros aspectos. Se diferencian de los teléfonos convencionales, por el hecho de permitir funcionalidades que van más allá de llamar y recibir llamadas [22].
2. **Gama Media:** Los teléfonos móviles de media gama se caracterizan por tener pantallas de calidad, pero de menor tamaño, resolución y profundidad de pixeles por pulgada; los procesadores no tienen la potencia de los que encontramos en gamas superiores, y las cámaras y fotográficas generalmente cuentan con menos cantidad de megapíxeles [22].
3. **Gama Alta:** Aquí agruparemos a los teléfonos celulares no sólo considerados como emblemáticos de cada empresa fabricante, sino también por reunir todas las características, componentes, avances, tendencias e innovaciones que proporciona la tecnología móvil para el momento del lanzamiento, en lo concerniente a su funcionamiento: pantalla, acceso a redes de máxima velocidad, conectividad, versión del sistema operativo, procesador y la frecuencia en GHz, memoria RAM, batería, capacidad y servicios gratuitos de almacenamiento, además de la cámara fotográfica y video [22].



2.5 Frecuencia de operación:

En Nicaragua las frecuencias autorizadas por el Ente Regulador de la telecomunicaciones (TELCOR) para la telefonía celular son las bandas de 850MHz (Primera portadora) y 1900MHz (Segunda portadora), y estas bandas de frecuencias son compartidas para las tecnologías GSM y WCDMA por lo cual se agrega el termino GSM - WCDMA 850 y GSM - WCDMA 1900 [23].



3. Capítulo III: Auditoria de la red WCDMA

3.1 Inducción:

Las operadoras celulares periódicamente realizan auditoria a su red con el fin de tener una hoja de datos llamada Cell Data, la cual cuenta con la información actualizada de los parámetros lógicos y físicos de todos los sitios que se encuentran en operación comercial.

Es conveniente que durante las mediciones de campo se cuente con una Cell Data actualizada para poder hacer el análisis adecuado y poder detectar los diferentes tipos de eventos que se presentan durante la prueba.

3.2 Auditorias lógicas:

Los parámetros lógicos son aquellas que se pueden realizar mediante vía comandos con una conexión remota, la cual permite realizar las siguientes auditorias:

Revisión de parámetros lógicos: Esta auditoria se hace con el fin de verificar los parámetros de: potencia, asignación de PSC, UARFCN DL/UL, LAC (Local Area Code), RAC (Routing Area Code), Cell ID, maxNumHsPdschCodes, numHsPdschCodes, maxNumEulUsers y maxNumHsdpaUsers.

Revisión de licencias: Esta revisión se hace con el fin de verificar las licencias que instalaron son las adecuadas para el correcto funcionamiento del sitio, entre la que se pueden mencionar: Licencia de potencia, modulación, capacidad (licenseCapacityNumHsdpaUsers, licenseCapacityNumHsPdschCodes, licenseCapacityNumEulUsers), número de portadoras etc.

Revisión de vecinas: Es necesario saber que los Handover entre celdas se efectúan solo si existen relaciones de vecinas entre las celdas con mejores condiciones para efectuar handover. En el caso de WCDMA el número de relaciones

de vecinas por celda depende de la licencia adquirida. Muchos operadores adquieren licencia para 32 vecinas por sector.

Las definiciones de vecinas en el caso de WCDMA, es de suma importancia y es crítico ya que de estas depende el desempeño de las celdas y por ende el desempeño de la red, debido a que en WCDMA el factor de reusó de frecuencia es 1, por lo cual la ausencia de definiciones de vecinas entre las celdas de un Nodo B vecinos implica interferencias entre las celdas y Drop Call [2].

Cabe mencionar que las relaciones de vecinas no solo se hacen entre Nodos B sino que también se hacen entres portadoras y tecnologías por ejemplo: se tienen que hacer relaciones de vecinas entre la primera y segunda portadora de los Nodos B y entre tecnologías como GSM y LTE (Handover IRAT), en la figura 14 se observa la declaración de vecinas para un sector.

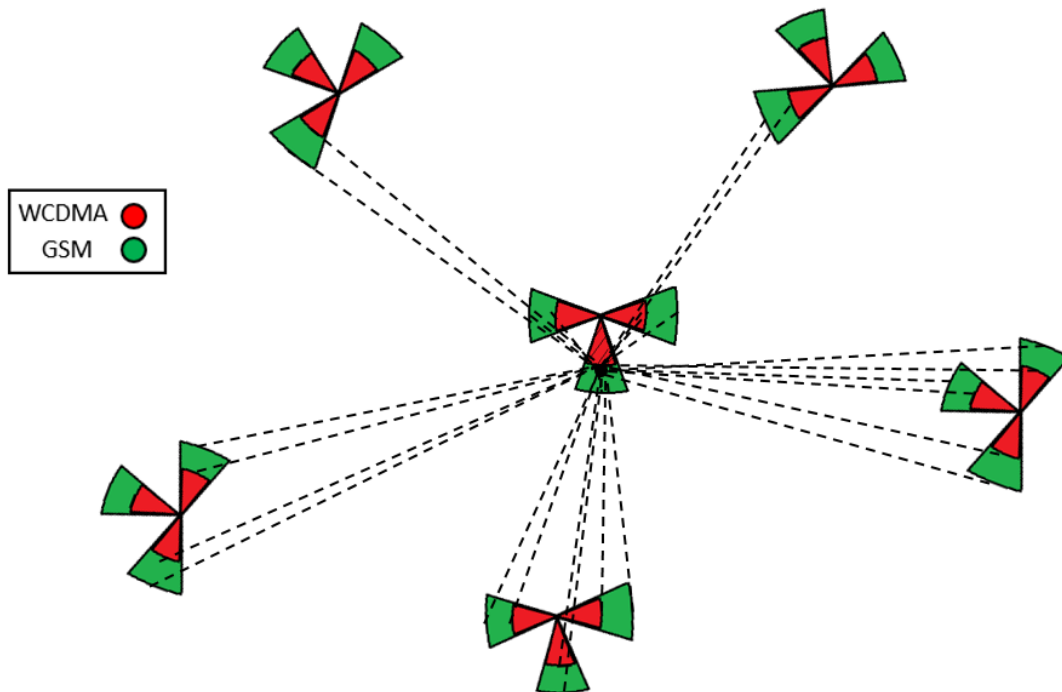


Figura 14 Relaciones de vecinas



Revisión de parámetros para la transferencia de llamada: En modo idle a la transferencia de llamadas se le nombra como re-selección de celdas y en modo activo como Handover. En modo idle los parámetros más importantes del canal son el $Q_{rxlevmin}$ y $Q_{qualmin}$ equivalente al RSCP y el E_c/N_o en el modo activo [24].

Tanto como el modo Idle y activo el UE debe monitorear lista de celdas que están dividida en 3 categorías:

1. **Conjunto activo:** Es el grupo de celdas a las que el UE monitorea con mejores niveles. Este conjunto activo solo contiene las celdas que operan a la misma frecuencia WCDMA [24].
2. **Conjunto Monitoreado:** Representan las celdas que no están en el conjunto activo, pero que el UE está monitorizando para el traspaso de acuerdo a la lista de celdas vecinas definida. Este conjunto puede contener celdas UTRAN, GSM, LTE y las celdas de diferentes frecuencias WCDMA [24].
3. **Conjunto detectado:** Es el conjunto de celdas que no están incluidas en la lista de celdas vecinas para monitorizar pero son detectadas por el UE. El UE solo reporta las celdas UTRAN que están bajo la misma frecuencia que el conjunto activo y solo cuando el UE esté modo activo, con el propósito de proveer información al operador [24].

La tecnología WCDMA esta determinados por los parámetros de: RSCP, que representa una medida comparable a la intensidad de campo, además del E_c/N_o , ya que en estas redes otro factor crítico es la interferencia ocasionada por otros NodosB. Estos dos parámetros se encuentran relacionados por el RSSI que a pesar de no considerarse como un buen indicador de cobertura debido a la inhabilidad de este valor para estimar la calidad [24].



RSCP: La *potencia del código de la señal recibida* (RSCP, *Received Signal Code Power*) representa la potencia recibida en un código dado en dBm y medido en los bits piloto del canal CPICH primario. El punto de referencia para el RSCP es el conector de la antena del UE. Este parámetro es aplicable para el UE en modo idle o en modo activo y constituye una medida obligatoria para el UE en cuanto cobertura [24].

El valor recomendado por la especificación 3GPP TS 25.304 version 5.0.0 para la re-selección o handover de celda es:

$$RSCP \geq -95dBm (4)$$

Ec/No: El Ec/No (actualmente Ec/Io) representa la energía por chip recibida dividida con respecto a la densidad espectral de potencia total recibida en la banda de frecuencia, que incluye la señal e interferencia, usualmente dada en dB. En otras palabras representa la relación del RSCP del canal CPICH primario respecto al RSSI de la portadora. Esta medida debe ser llevada a cabo en el canal CPICH primario. El punto de referencia es el conector de la antena del UE. Es aplicable para modo idle y modo activo [24].

Este parámetro es equivalente al nivel de ruido, en la red WCDMA, el UE normalmente recibe señales de múltiples NodosB, transmitiendo en la misma frecuencia. Por lo tanto es posible que incluso en una localización cercana a un NodoB, con un alto RSCP, no exista conexión, debido a un alto nivel de interferencia de un NodoB cercano. Este efecto es conocido como “*pilot pollution*” y los planificadores de la red deberían evitar el espaciamiento demasiado cercano entre los NodosB. [24]



Este parámetro utilizado para el proceso de re-selección de una celda y los procedimientos de handover, señalado en la especificación *3GPP TS 25.133*, en donde se indica que el criterio que se debe satisfacer para la identificación de una nueva celda es de [24]:

$$\text{CPICH } E_c/I_o \geq -20 \text{ dB (5)}$$

Considerando los criterios antes mencionados se determina que la detección de una nueva celda en donde el UE va a acampar requiere como mínimo un E_c/N_o de -20 dB, sin embargo para asegurar cierta calidad en este proceso, se considera el concepto que manifiesta que una celda es más conveniente que la actual en la que se está acampando cuando proporciona un E_c/N_o de por lo menos 3dB más que la celda servidora, por lo que se procuraría que este parámetro sea igual o superior a -17 dB [24].

Debido a la macro diversidad de la red WCDMA el UE puede monitorias 3 celdas en modo activo con valores similares, cuando ocurre este caso se recomienda que el valor mínimo del E_c/N_o debe ser [24]:

$$E_c/N_o \leq -14 \text{ dB (6)}$$

RSSI: El Indicador de la Intensidad de la Señal Recibida (*RSSI, Received Signal Strength Indicator*) representa la potencia recibida dentro del ancho de banda del canal relevante. El punto de referencia para el RSSI es el conector de la antena del UE y es aplicable para el UE en modo idle y activo. Este parámetro toma en cuenta el RSCP y el E_c/I_o , usualmente dado en dBm. [24]

Usualmente el valor de RSSI debe ser por lo menos -14 dB más que el RSCP [24].



Revisión de alarmas O&M y VSWR: Los nodos B tienen instaladas una cantidad de alarmas para garantizar el correcto funcionamiento del mismo, entre las que podemos mencionar están:

a. O&M (Operación & Mantenimiento):

1. **Electricidad:** Son alarmas que registran las variaciones eléctricas de la red comercial que alimenta al sitio, con el fin de verificar que dichas variaciones no afecte el desempeño del mismo.
2. **Climatización:** Las RBS (Radio Base Station) poseen dispositivos electrónicos que pueden recalentarse por lo cual se les instalan equipos de refrigeración los cuales envían alarmas cuando no logran cumplir la temperatura establecida.
3. **Potencia:** Todos los sitios tienen una potencia de transmisión establecida por lo cual se envían alarmas cuando esta potencia está por encima o por debajo de lo establecido.
4. **AntennaBranch_FeederCurrentTooHighInBranchA:** Esta alarma ocurre cuando el cable que va conectado a la antena es defectuosa o esta desconectado.
5. **Heartbeat Failure:** Esta alarma ocurre cuando se pierde la comunicación entre la OSS y el sitio debido a la baja transmisión.

b. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio):

El desajuste de impedancia en una radio-frecuencia (RF), produce de pérdida de potencia causado por la línea de transmisión eléctrica y energía reflejada. La relación de voltaje de onda estacionaria (VSWR) es una forma de medir las imperfecciones de línea de transmisión [25].

La relación de onda estacionaria (ROE) es una medida de la eficiencia de la transmisión potencia de RF desde la fuente de alimentación, a través de la línea de



transmisión, y en la carga. Un ejemplo común es un amplificador de potencia conectado a través de una línea de transmisión a una antena [25].

SWR es, por lo tanto, la relación entre las ondas transmitidas y reflejadas. Un alto SWR indica una pobre eficiencia de línea de transmisión y la energía reflejada, que puede dañar el transmisor y disminuir la eficiencia del transmisor. Y un bajo SWR indica una buena eficiencia de la línea de transmisión y la energía reflejada. Dado que los cables de acero comúnmente se refiere a la relación de voltaje, por lo general se conoce como relación de onda de tensión (VSWR) [25].

En un sistema ideal, es decir, una relación 1:1, es cuando el 100% de la energía se transmite de las etapas de potencia a la carga. Esto requiere una coincidencia exacta entre la impedancia de la fuente, es decir, la impedancia característica de la línea de transmisión y todos sus conectores, y la impedancia de la carga. El voltaje de CA de la señal será el mismo de extremo a extremo ya que pasa sin interferencias [25].

Cuando hay un alto VSWR se envía una alarma debido a que esto provoca un mal desempeño del sitio debido a la pérdida de la potencia de transmisión.

3.3 Auditorias físicas:

Los parámetros físicos son aquellos que se revisan haciendo una visita al sitio en cuestión, dicha visita permite realizar las siguientes auditorias:

Revisión de inventario de Hardware: Esta auditoría se hace con el fin de verificar que los equipos como la RRU (Remote Radio Unit), RBS (Radio Base Station), Fibra o Feeder y la antena estén correctamente instalados.



Revisión de configuración del sitio: Esta auditoría se hace con el fin de verificar los Modelo de antenas, azimut, altura, Tilt eléctrico, Tilt mecánico y equipos de radio instalados según el diseño [2], a como se observa en la figura 15.



Figura 15 Auditoria Física



4. Capítulo IV: Mediciones de Campo

4.1 Introducción:

Las mediciones de campo – Drive Test (DT) son fundamentales para servicios como: Initial Tuning Service (ITR), benchmarking, rehomíng, planificación de frecuencia, planificación de primary scrambling code y Optimización de redes celulares para las tecnologías 2G, 3G y 4G.

La principal razón por la que se realizan los DT es porque permite recolectar datos y detectar en el campo el estado de la red celular en una zona o área determinada.

Los operadores de telefonía celulares realizan periódicamente DT para detectar los eventos que estén degradando los niveles de calidad y cobertura de su red. Los DT se realizan inicialmente para detectar las áreas con bajos niveles de cobertura y bajos niveles de calidad con el objetivo de identificar las áreas específicas y proceder a mejorar las mismas a través de cambios físicos o lógicos en la zona afectada. La realización de un segundo DT en la zona donde se realizaron cambios físicos y lógicos es con el fin de identificar las mejoras en cobertura y calidad en la zona porque de lo contrario literalmente se estarían haciendo cambios a la red a ciegas.

4.2 Herramientas para un DT:

Actualmente existen varios software que están orientados a los DT entre los que podemos mencionar: TEMS (Propiedad de ASCOM), Nitro (Propiedad de JSDU) ZK (Propiedad de ZK cell test), Probe/Genex (Propiedad de Huawei), Nemo (Propiedad de Anite), Actix (propiedad de Analyzer) y Netimizer (Propiedad de Spire Technology Inc).

Pero en esta ocasión se estudiara únicamente el software Netimizer & Actix el cual es una herramienta que permite analizar todos los servicios antes mencionados.

Netimizer está compuesto por el software **DML** y **DMA**:



Netimizer DML es una herramienta para medir y analizar la calidad de servicio de voz y calidad de servicio de dato en una red celular y Netimizer DMA & Actix Analyser son herramienta para analizar las muestras recolectadas y realizar reportes.

4.3 Tipos de mediciones:

Durante el DT se realizan dos tipos de mediciones: Modo inactivo y Modo activo:

Modo inactivo: Es cuando el teléfono móvil esta encendido pero no tiene asignado un canal dedicado. En el modo idle (Inactivo) es importante que el teléfono móvil sea capaz de alcanzar y ser alcanzado por la red móvil terrestre pública (PLMN) [8].

El UE buscará y seleccionará una celda adecuada en la red PLMN escogida, entonces sintonizará al canal de control de la celda para recibir información sobre los servicios disponibles proporcionados por la red PLMN. Esta selección se conoce como “acampar” (camping) sobre una celda. Cuando el UE está en modo desocupado, siempre tratará de acampar en la mejor celda de acuerdo a un criterio basado en la intensidad de señal [8].

El propósito para que un móvil acampe en modo idle en una celda son los siguientes:

- a) El teléfono móvil recibe información de red [8].
- b) El móvil puede iniciar una llamada accediendo a la red en el canal de acceso aleatorio (Random Access Channel - RACH) de la celda en que acampo [8].
- c) Si la PLMN recibe una llamada para el equipo de usuario registrado, se conoce (en la mayoría de los casos) el área de registro de la celda en la que está acampado el UE. A continuación, puede enviar un mensaje de "paginación" para el UE en canales de control de todas las células en el área de registro. El equipo de usuario recibirá entonces el mensaje de búsqueda, ya que está sintonizado en el canal de control de una célula en esa área de registro y el UE puede responder en ese canal de control [8].
- d) Permite que el UE reciba los servicios de información de célula [8].



Si el UE es incapaz de encontrar una célula adecuada para acampar o la tarjeta SIM no está insertada, o si el registro de localización falló, entra en un estado de "servicio limitado" en el que sólo se puede intentar realizar llamadas de emergencia [8].

Modo activo: Es cuando el UE deja el estado idle para establecer una llamada. El UE envía una solicitud de recursos a la RNC enviando el mensaje RRC_Connectionrequest vía el canal lógico CCCH transportado por el RACH. La RNC asigna los recursos al UE enviando el mensaje RRC_connectionSetup vía el CCCH transportado en el FACH, una vez establecido los recursos entre la RNC y el UE, la RNC envía una solicitud para la asignación de recursos de transporte entre la RNC y el MSC, la asignación se confirma con el envío del mensaje RAB_AssignmentRequest por la RNC [7].

Seguidamente la RNC prepara una nueva configuración para el enlace de radio entre el UE y el nodoB a través del mensaje RadioLinkSetupRequest, en nodo B confirma la nueva configuración establecida cuando el enlace de radio ha sido reservado, contesta con el mensaje RadioBearerSetupComplete y si el UE tenía una configuración anterior procede a borrarla. Luego la RNC envía RAB_AssignmentResponse que indica al CN el resultado de la petición del RAB_assignmentRequest [7].

Una vez establecida la conexión se produce el tráfico de información entre el UE y el CN, a este tráfico de información se conoce como RAB (Radio Access Bearer), este a su vez está compuesto por RB (Radio Bearer) + Iu Bearer. El RB es la conexión entre el UE y la RNC y se divide en SRB y TRB. Cuando se trata de señalización se tiene el SRB (Signaling Radio Bearer) y en el caso de datos para el usuario se tiene el TRB (Traffic Radio Bearer). El Iu Bearer es la conexión entre la RNC y el CN dividiéndose en PS para llamada de voz y CS para servicios de datos [7].



4.4 Tipos de DT:

Outdoor: Este tipo de DT se realiza en exteriores como: calles, avenidas, parques etc. Con el fin de analizar el comportamiento de red al momento que deseemos realizar una llamada en este tipos de ambientes.

Para hacer un DT Outdoor se necesitan los siguientes equipos:

- a. Vehículo con conductor.
- b. PC Portátil con un sistema operativo Windows 32 bits que tenga como mínimo un procesador I3 de segunda generación con 4GB de memoria RAM.
- c. Scanner.
- d. Terminales móviles: Teléfonos móviles con procesadores Qualcomm, con sus respectivos controladores, que tengan acceso a modo ingeniera y a la red móvil WCDMA, modem con sus respectivo controladores y acceso a la red WCDMA.
- e. Cables USB compatibles con los teléfonos.
- f. GPS con conexión USB.
- g. Software Netimizer DML version v3.6.928.
- h. Un hub.
- i. Un inversor.

A como se observa en la figura 16.

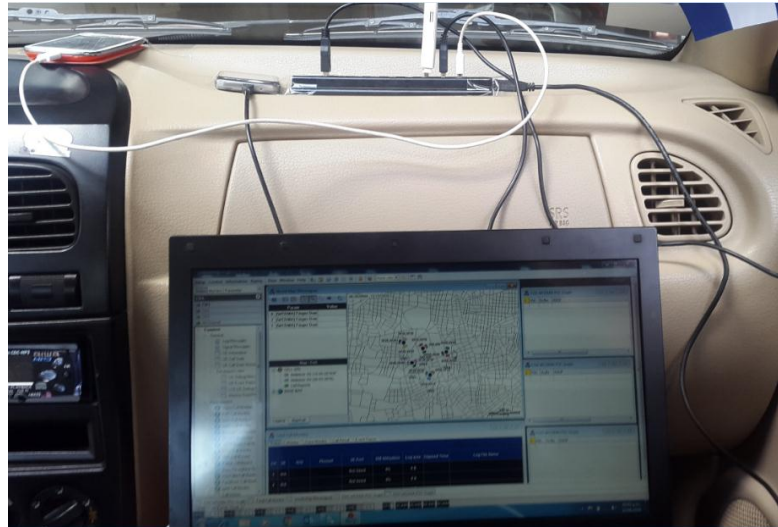


Figura 16 Equipos para DT Outdoor

EL DT consiste en recolectar muestras del Nodos B o sitio de interés que se desea analizar, para ello se recomienda iniciar con mediciones estacionarias, la cual consiste en estacionarte de frente a cada uno de los sectores del sitio por un tiempo determinado con el fin de detectar si hay sectores cruzados o rotados y verificar el correcto funcionamiento del mismo.

1. **Sectores cruzados:** Este evento ocurre cuando los instaladores cruzan la fibra o el feeder, es decir, ponen la fibra del sector 1 al sector 2 y el sector 2 al 1 provocando el cruce de los sectores, a como se observa en la figura 17, esto procese serios problemas con las declaración de vecinas debido a que esta se hace vía remota y dichos sectores estarán con las asignaciones de vecinas incorrectas provocando caídas de llamadas.

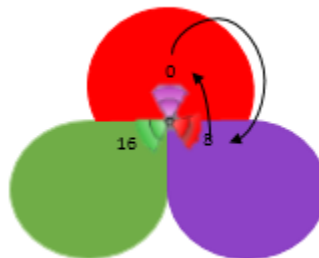


Figura 17 Sectores Cruzados

- 2. Sectores Rotados:** Es evento a similar al de los sectores cruzados pero esta vez son los 3 sectores los que presentan el cruce de las fibras o feeder, de ahí el nombre se sectores rotados por que literalmente están rotados provocando el mismo problemas con respecto a las vecinas, a como se observa en la figura 18.

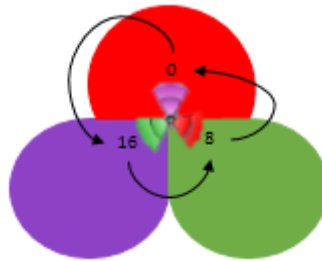


Figura 18 Sectores Rotados

Ya verificado el correcto funcionamiento del sitio de interés se debe de trazar una ruta la cual tiene que rodear los 3 sectores del sitio que se desea analizar e irse alejando hasta que se logre hacer handover con los sitios vecinos como se observa en la figura 19.

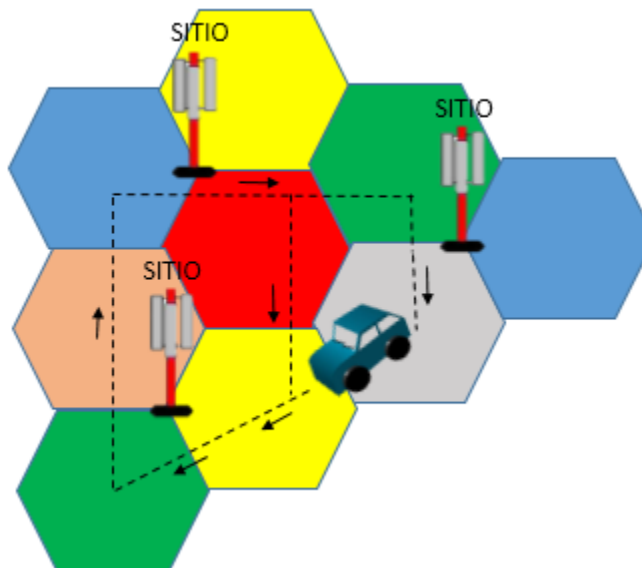


Figura 19 DT Outdoor



Indoor: Este tipo de DT se hacen en interiores como: Casa, edificios, oficinas, bodegas etc. Con el fin de analizar el comportamiento de la red cuando deseemos realizar una llamada en interiores.

Para hacer un DT Indoor se necesitan los siguientes equipos:

- a. PC Portátil con un sistema operativo Windows 32 bits que tenga como mínimo un procesador I3 de segunda generación con 4GB de memoria RAM con una carga de batería que dure más de una hora.
- b. Terminales móviles: Teléfonos móviles con procesadores Qualcomm, con sus respectivos controladores, que tengan acceso a modo ingeniería y a la red móvil WCDMA, modem con sus respectivos controladores y acceso a la red WCDMA, Scanners con sus respectivos controladores.
- c. Cables USB compatibles con los teléfonos.
- d. Software Netimizer DML version v3.6.928.

El DT consiste en recolectar muestras en el local que se desea analizar para ello se tiene que caminar sobre del área que se desea hacer el DT hasta recorrer toda el área como se observa en la figura 20.



Figura 20 DT Indoor

En los DT para interiores usualmente se observa los niveles de calidad un poco más degradados en comparación con el Outdoor debido a que en interiores se presentan los fenómenos de atenuación y reflexión dependiendo de los materiales de construcción empleado en el edificio.



4.5 Post proceso:

Esta es la actividad que se realiza después de un DT haciendo uso de la Herramienta Netimizer DMA & Actix Analyzer con el fin de analizar los datos recolectados en el campo detalladamente e identificar eventos que causan las degradaciones de los niveles de cobertura y calidad de la red.

Para detectar estos eventos se tiene que tematizar los colores y los rangos de los parámetros recolectados durante el DT como: EcNo, RSCP, BLER, Throuhgput DL, Throuhgput UL, y CQI mediante una leyenda. Dicha leyenda permite diferenciar las zonas donde la red tiene buenos o malos rendimientos para cada uno de los indicadores antes mencionados.

Las operadoras celulares normalmente definen sus leyendas con los rangos que consideran adecuados para medir el comportamiento de su red y en la mayoría de los casos definen los colores de tal forma que los mejores niveles son los colores representativos de la misma y los malos niveles son los colores representativos de la competencia.

Los rangos de leyendas utilizados en este documento se basan en valores similares a los utilizados por las operadoras celulares en Nicaragua y en cuanto a los colores se intenta hacer la analogía del semáforo donde el color verde representa los buenos niveles, el amarillo los representa los niveles aceptables y el rojo los niveles bajos o malos.

Para hacer un post proceso con Netmizer DMA se necesitan los siguientes equipos:

- a. PC Portátil o de escritorio con un sistema operativo Windows 32 bits que tenga como mínimo un procesador I3 de segunda generación con 4GB de memoria RAM.
- b. Software Netimizer DMA version v3.6.928.



Para Actix Analyzer:

- a. PC Portátil o de escritorio con un sistema operativo Windows 64 bits que tenga como mínimo un procesador I3 de segunda generación con 8GB de memoria RAM.
- b. Software Actix Analyser 4.05.254.760

4.6 Reporte:

El post procesamiento permite la extracción de plot de los parámetros medidos durante el DT para elaborar reportes los cuales permiten visualizar de forma más clara el comportamiento de la red, donde se deben agregar los plot de los de los eventos que se detectaron durante el post procesamiento como:

1. **Fallas de acceso:** También conocido como SetupFail, es cuando el UE intenta acampar a una celda pero por diversos motivos no logra acceder a la red [7].
2. **Fallas de retenibilidad de llamadas:** También conocido como Drop Call, es cuando el UE ya está acampado a una celda pero la red no logra retener la llamada provocando una caída de llamada [7].
3. **Sobre propagación:** Sucede cuando el UE acampa en una celda lejana que por motivos del escenario actual presenta niveles suficientes para ser servidora momentáneamente. El problema se presenta cuando el UE se mueve y no elige otra celda con mejores niveles para acampar, puesto que al momento de moverse los niveles de cobertura y calidad de la celda actual se degradan provocando una falla de acceso al momento que el UE intente acceder a la red para utilizar un servicio [7].

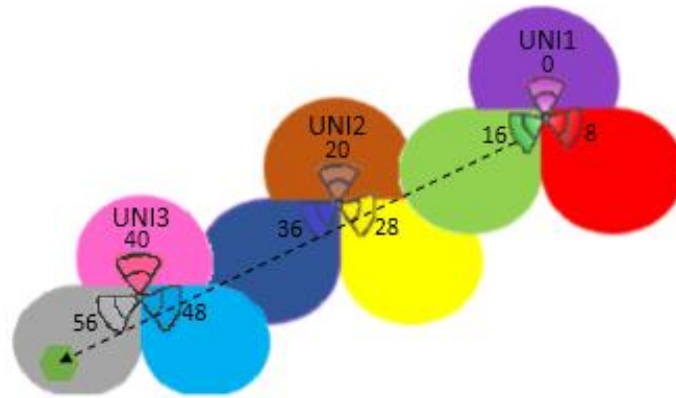


Figura 21 Sobre Propagación

4. **Vecinas no declaradas:** La incorrecta definición de vecinas en una celda puede ocasionar que el UE intente hacer conexión con una celda lejana, y es sujetó a interferencia por celdas no definidas más cercanas provocando fallas de acceso y caídas de llamadas [7].
5. **Congestión:** Esto ocurre típicamente en las horas picos cuando el UE intenta acceder a una celda que esta sobrecargada provocando una falla de acceso [7].
6. **Huecos de cobertura:** La cobertura que ofrece una celda o un clúster, puede variar desde los requerimientos del operador, los parámetros de diseño de la red, la incidencia geográfica y natural, hasta por el nivel de tráfico que puede soportar, encontrando zonas donde en términos de cobertura hay niveles muy bajos, llamados huecos de cobertura, provocando fallas de acceso y caídas de llamadas por el hecho que UE no cuenta con la cobertura suficiente para llevar acabo un servicio [7].
7. **Pilot Pollution:** Este evento ocurre cuando el número de celdas potencialmente servidoras excede el tamaño del active set definido, típicamente el tamaño de active set es 3, provocando fallas de acceso, caídas de llamadas y degradación en los niveles de calidad [7].



- 8. Falla de handover:** Este evento ocurre cuando hay problemas de congestión, cobertura y vecinas no definidas, provocando fallas de acceso y caídas de llamadas [7].

En dicho reporte se deben analizar todos los servicios que se midieron durante el DT de manera separada para cada una de las portadoras, además se deben hacer observaciones para todos los servicios y en el caso que se detecten eventos se deben de hacer recomendaciones o propuestas de cambios ya sea a nivel lógico o físico para corregir dichos eventos.

En las figuras 22, 23, 24 y 25 se muestra el resultado de las mediciones y el post procesamiento en ambientes Outdoor del recorrido que se realizó en los alrededores del edificio de la UNI para la validación de las guías de laboratorio, en dichas figuras se observan los niveles del RSCP y EcNo para las dos operadoras celulares que brindan servicios WCDMA en Nicaragua.

Durante las mediciones se observa que la operadora Claro tiene mejores niveles de cobertura y calidad respecto a Movistar.

En cuanto las portadoras 850Mhz y 1900Mhz presentaron niveles de cobertura y calidad similares para ambas operadoras y no se registraron fallas de acceso y caídas de llamadas.

a. Operadora Claro:

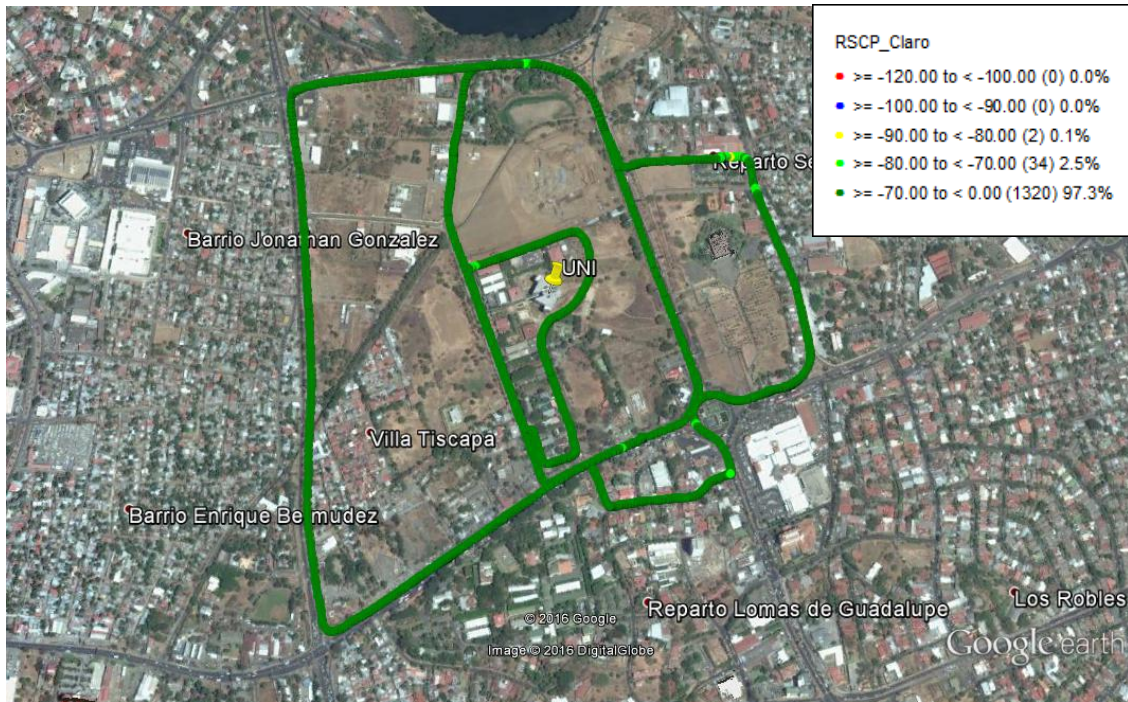


Figura 22 Niveles Outdoor de RSCP para la operadora Claro

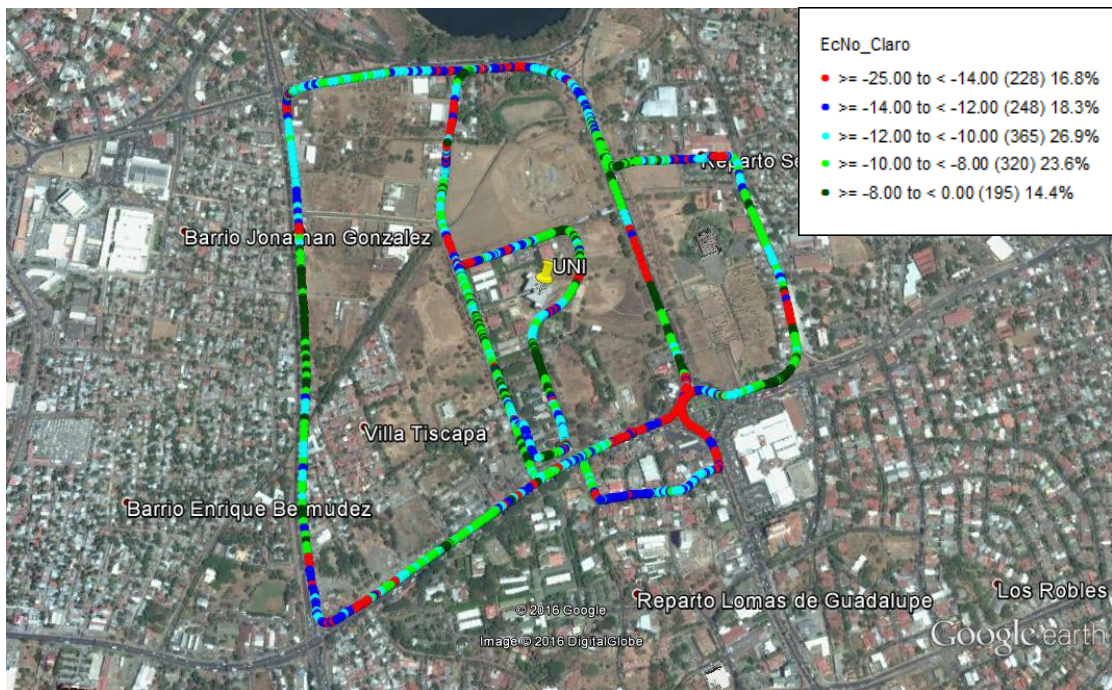


Figura 23 Niveles Outdoor de EcNo para la operadora Claro

b. Movistar:

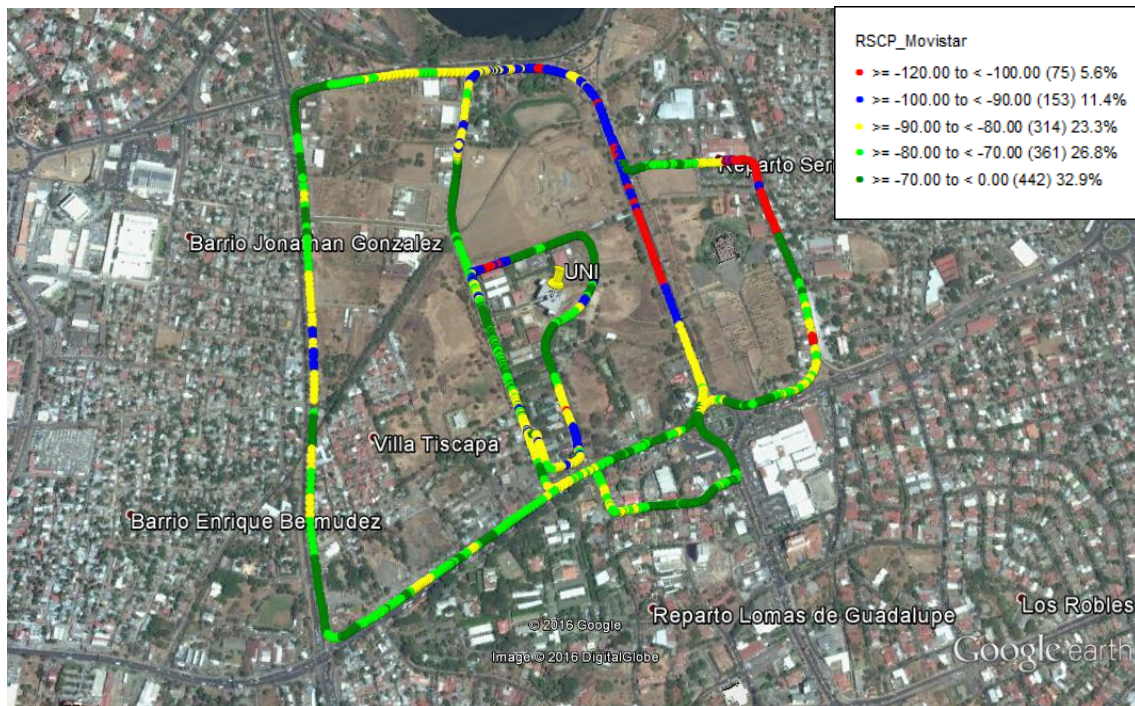


Figura 24 Niveles Outdoor de RSCP para la operadora Movistar

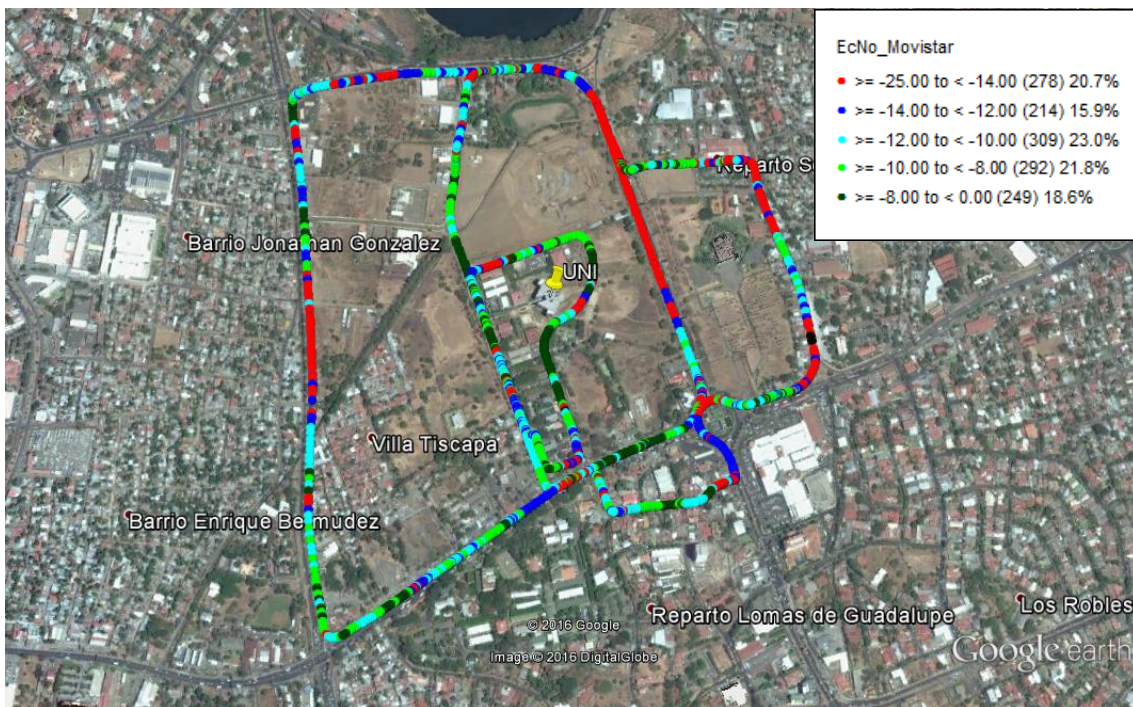


Figura 25 Niveles Outdoor de EcNo para la operadora Movistar

En las figuras 26, 27, 28 y 29 se muestra el resultado las mediciones y el post proceso en ambientes Indoor realizada para las validación de las guías de laboratorio, la cual se realizó en el edificio Rigoberto López Pérez de la UNI, en dichas figuras de observan los niveles del RSCP y EcNo para las dos operadoras celulares que brindan servicios WCDMA en Nicaragua.

Durante las mediciones se observó que la operadora Claro tiene mejores niveles de cobertura y calidad respecto a movistar, las mediciones que se muestras a continuación se realizaron en el primer piso pero ocurre de manera similar en los demás pisos.

En cuanto las portadoras 850Mhz y 1900Mhz presentaron niveles de cobertura y calidad similares, prevaleciendo lo anterior para las dos operadoras y no se registraron fallas de acceso y caídas de llamas.

a. Claro:

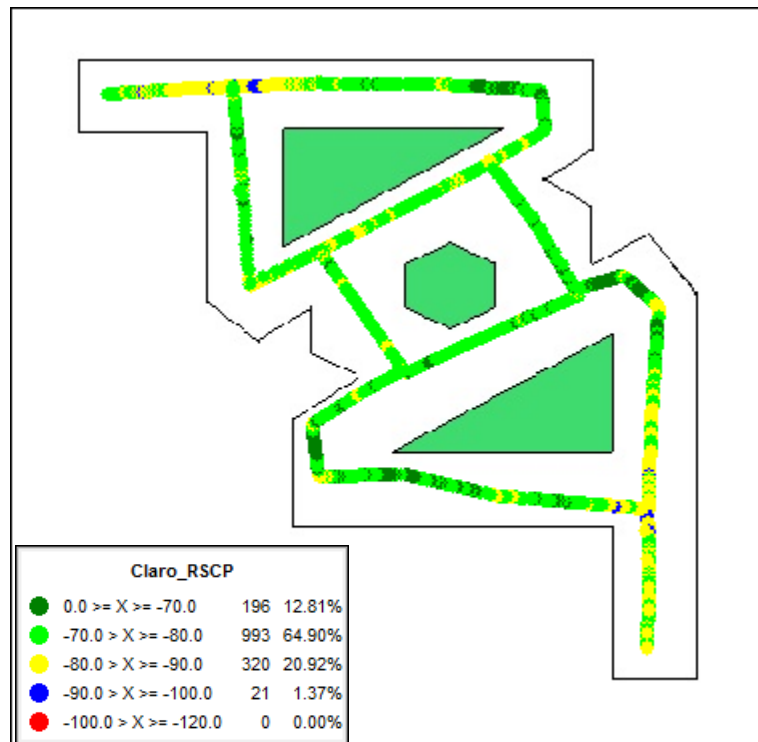


Figura 26 Niveles Indoor de RSCP para la operadora Claro

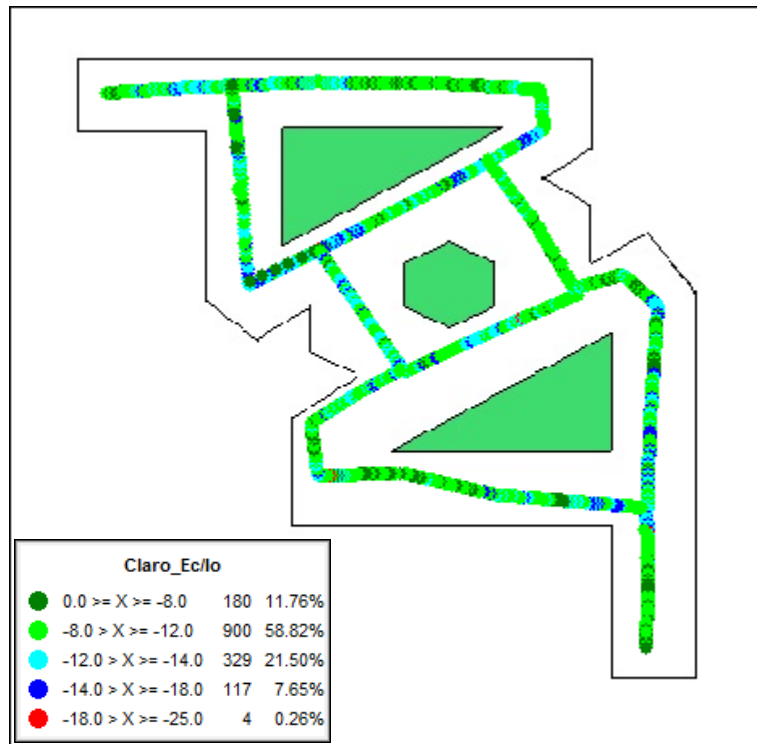


Figura 27 Niveles Indoor de Ec/Io para la operadora Claro

b. Movistar:

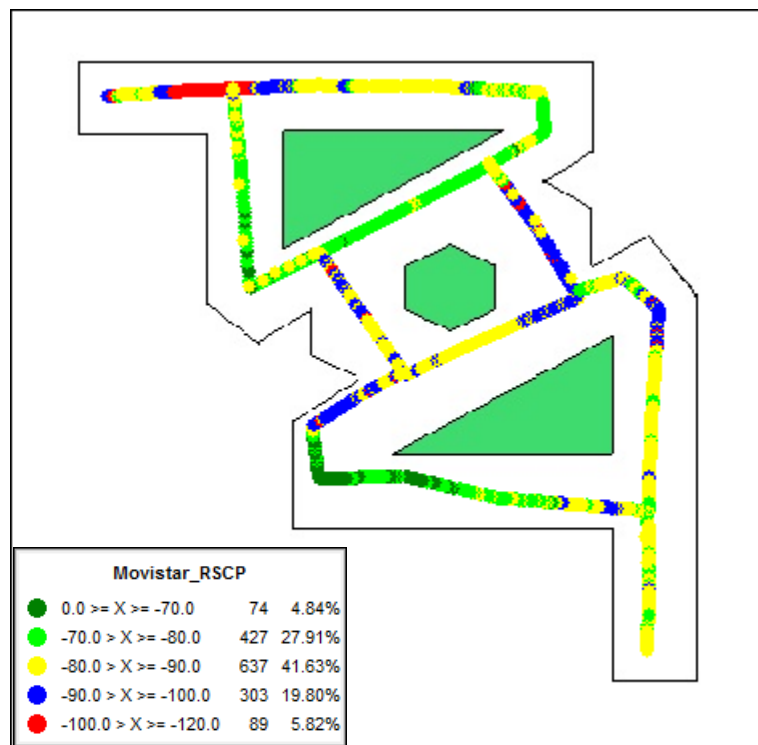


Figura 28 Niveles Indoor de RSCP para la operadora Movistar

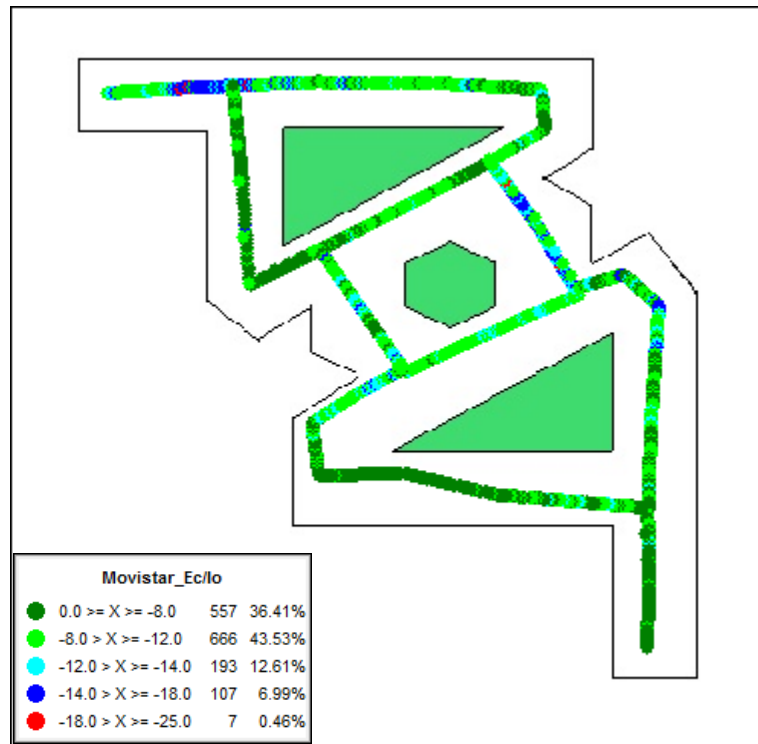


Figura 29 Niveles Indoor de Ec/Io para la operadora Claro



5. Capítulo V: Validación de las Guías de laboratorio

5.1 Introducción:

Estas guías de laboratorios fueron evaluadas por estudiantes de 4to y 5to año de la carrera de ingeniería electrónica y telecomunicaciones con el fin de corregir las partes donde los estudiantes muestren dificultades con el entendimiento de las guías.

Además se realiza una encuesta donde se les consulta a los estudiantes su nivel de comprensión hacia la guía y si creen que dichas guías les serán útil en el mundo laboral.

Para todas estas guías se harán mediciones para las bandas de 850, 1900 y abierto debido a que estas son las frecuencias autorizadas por TELCOR para la operación de la telefonía celular WCDMA en Nicaragua.

5.2 Estructura de las guías:

Estas guías están estructuradas en dos partes A y B. La parte A está enfocada en hacer mediciones de campo con la herramienta Netimizer DML y la parte B en el Post Procesamiento de datos recolectados en las mediciones de campo con la herramienta Netimizer DMA & Actix Analyser respectivamente.

Guías Indoor: Las guía del 1 al 4 tanto la parte A y B se enseñan hacer mediciones y post proceso Indoor.

La primer guía de laboratorio parte A se enseña como conectar y configurar los parámetros de los teléfonos y en hacer mediciones Indoor con la herramienta DML; En lo que corresponde a la parte B, se enseña como cargar Logs, configurar leyendas de PSC, RSCP y EcNo, extraer plot y estadísticas para el modo Idle.

La segunda guía de laboratorio parte A, se estudia la llamada continua en esta guía solamente se enseña como configurar en el plan setting para una llamada continua,



debido a que en la primer guía ya se enseñó la conexión y configuración de los teléfonos y hacer las pruebas Indoor, así que esto será omitido. En la parte B se omitirá como cargar los Logs y configurar las leyendas de PSC, RSCP y EcNo pero se enseña como configurar las leyendas de BLER y observar los drop call en el caso que hayan ocurrido para la llamada continua.

La tercer guía de Laboratorio la parte A, se estudia la llamada periódica en esta guía solo se enseña como configurar una llamada periódica en el plan setting y la parte B será omitida por qué se hace las misma configuración de leyendas que la guía de llamada continua, a diferencia que en esta ocasión se analiza el setupFail y esto también se aborda de manera separada en la guía antes mencionada.

La cuarta guía de laboratorio, se estudia el downlink (la bajada de datos) y Uplink (la subida de Datos) en esta guía la parte A se enseña como configurar en el plan Setting para la carga y descarga de datos y en la parte B como configurar las leyendas de THP y CQI.

Guías Outdoor: En la guía 5 tanto la parte A y B se enseña cómo hacer una prueba Outdoor.

La sexta guía de laboratorio parte A, la cual se puede aplicar para todos los servicios antes estudiados con la diferencia que en esta guía se enseña como cargar una Cell Data y conectar un GPS a la herramienta DML. En la parte B se estudia la herramienta Actix Alalyzer, en esta guía se enseña cómo hacer el post proceso para un recorrido Outdoor para todos los servicios antes estudiados y las ventanas que facilitan el análisis de los eventos negativos en el caso que haya ocurrido alguno durante la recolección de datos.

5.3 Encuesta

Para la realización de esta encuesta se contó con la participación de 3 alumnos, la baja cantidad de estudiantes que realizaron la encuesta se debió a que solo esa cantidad de estudiantes se presentaron a las validaciones y además había limitante de equipos, en cuanto a computadoras y teléfonos.

La encuesta que se realizó es tipo cerrada, este tipo de encuesta consiste que el encuestado elija una de las opciones que se presentan en el listado, las preguntas que se realizan están dirigidas al nivel de entendimiento e interés que presentan los estudiantes a dichas guías.

En las figuras 30 a la 35 se observa el resultado medido en porcentaje a las siguientes preguntas:

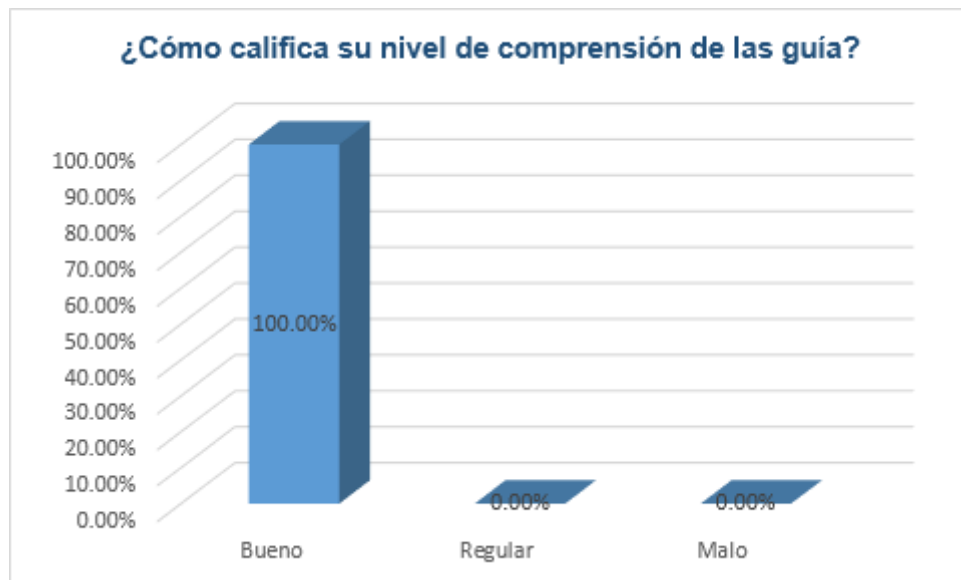


Figura 30 Pregunta de encuesta 1

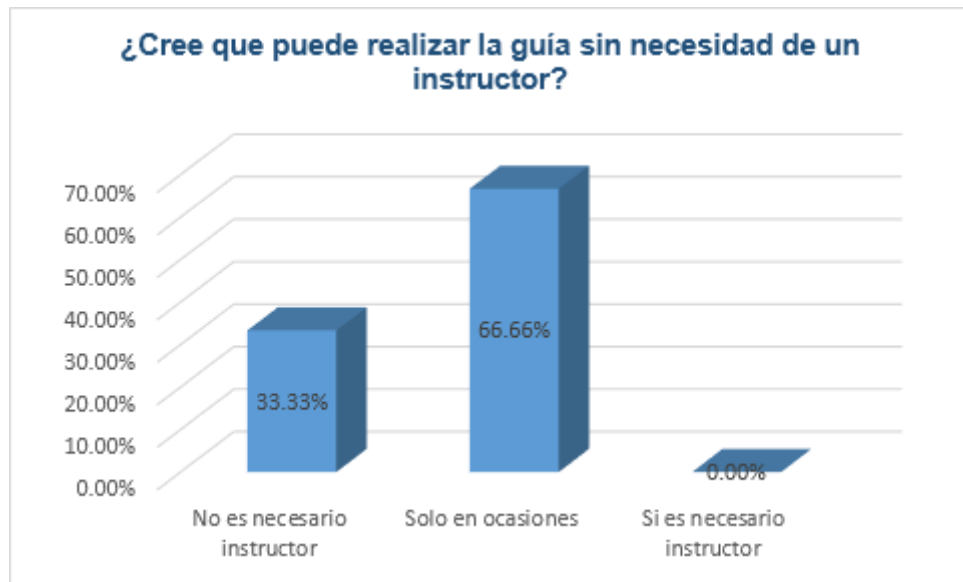


Figura 31 Pregunta de encuesta 2

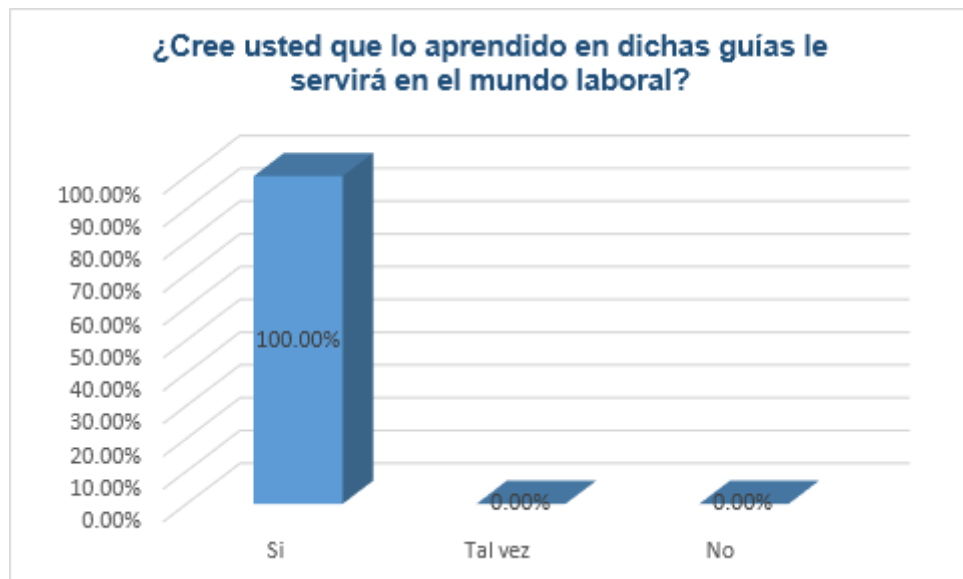


Figura 32 Pregunta de encuesta 3

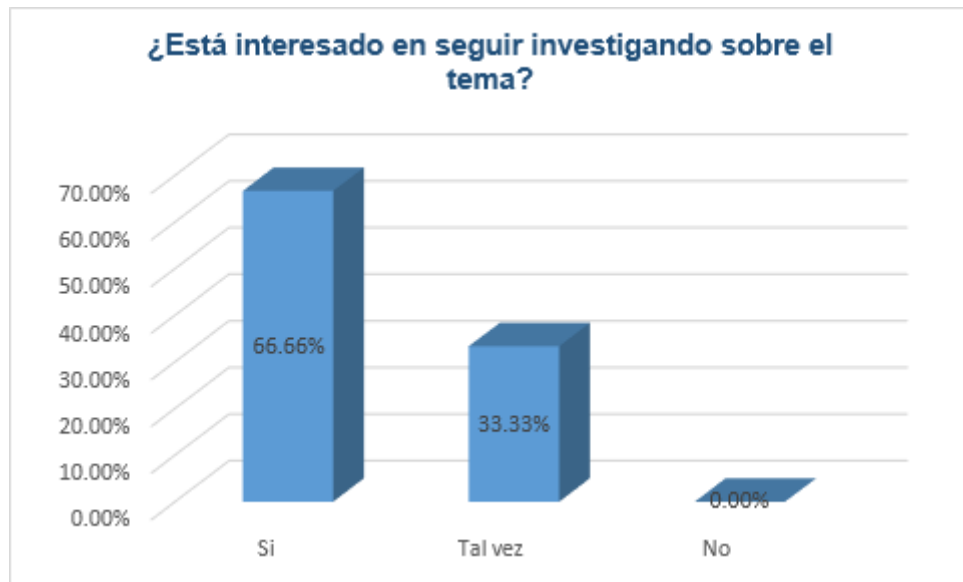


Figura 33 Pregunta de encuesta 4

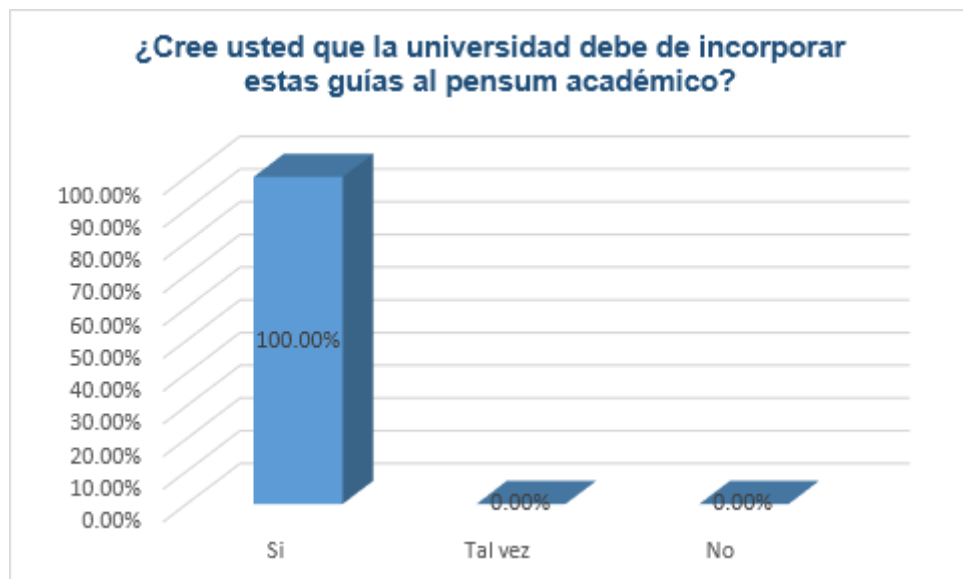


Figura 34 Pregunta de encuesta 5

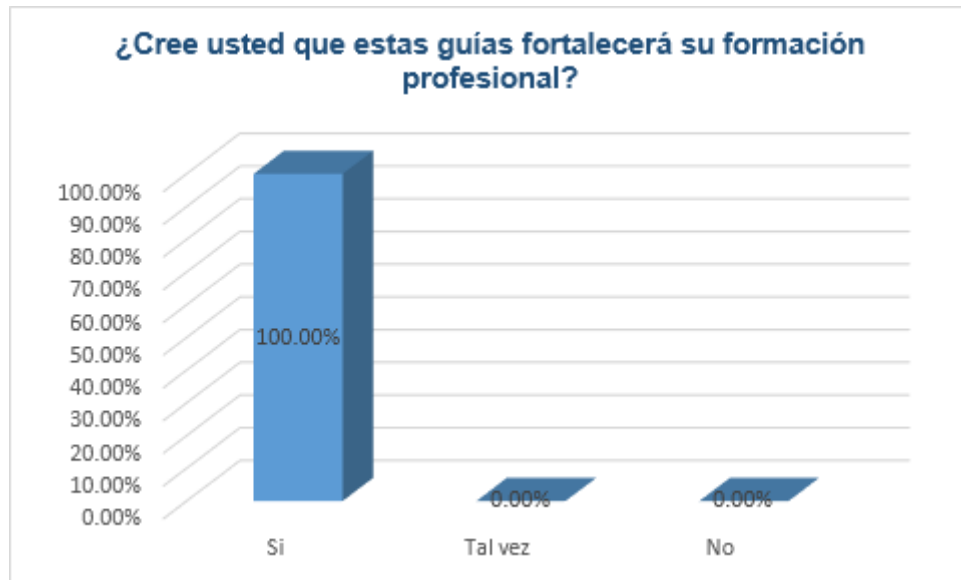


Figura 35 Pregunta de encuesta 6

Se puede decir que las guías obtuvieron resultados positivos en la encuesta, porque el 100% indican que el entendimiento hacia las guías es bueno y el 66.66% indica que están interesados en seguir investigando sobre el tema, es quiere decir, que al implementarse estas guías en las clases de comunicaciones móviles para la carrera de ingeniería en telecomunicaciones y radio comunicaciones para la carrera de ingeniería electrónica, posiblemente no se les dificulte a los estudiantes realizar las guías y muestren interés hacia las mismas.



5.4 Observaciones y recomendaciones de las guías:

Los alumnos realizaron observaciones y recomendaciones las cuales fueron tomadas en cuenta y se plasmaron en el resultado final de las guías.

Observaciones de los alumnos: Los alumnos realizaron observaciones sobre los puntos donde las guías mostraban dificultades, entre las que se mencionaron fueron las siguientes:

- a. En la guía I parte A explicar que el número de los puertos varían dependiendo del teléfono y de la máquina.
- b. En las demás guías digitar los valores o números en los pasos a seguir ya que en las imágenes en algunos casos no se logra apreciar bien, debido a la calidad de impresión.

Recomendaciones de los alumnos: Los alumnos expresaron que el método de documentó escrito como guía de laboratorio está un poco desfasado y por lo cual recomendaron la realización de videos los cuales muestren la configuración de las herramientas ya que en esta parte presentaron dificultades y les toma más tiempo para la realización de estas guías.

Mis observaciones: Durante la realización de la guía I parte A observe que durante la conexión de los teléfonos los alumnos cuando se les pedía seleccionar los puertos inmediatamente digitaban el puerto que se muestra en la imagen y se necesitaba de mi intervención para corregir lo anterior.

Otro caso similar ocurrió en la guía V parte B observe que durante la configuración de la Cell Data se les pide seleccionar los valores correspondientes solicitados por la herramienta pero los alumnos digitaban los que se muestran en la imagen y de igual manera se necesitó de mi intervención.

Dicho lo anterior note que explicar esto de manera escrita está un poco complicado por lo tanto la realización del video parece ser la mejor solución.



5.5 Conclusión

Las operadoras celulares realizan mediciones de campo con el fin de medir el comportamiento real de la red, para dar un mejor servicio a los usuarios que hacen uso de la misma, de no hacerse mediciones de campo se dificultaría en gran manera poder realizar la optimización, integración y ampliación de red ya que se harían a base de simulaciones las cuales no siempre garantizan que funcionen a como se espera en la práctica, por lo tanto hacer mediciones de campo resulta ser de vital importancia a las operadoras celulares para hacer un análisis adecuado de los de eventos que comúnmente se pueden presentar en la red WCDMA para las bandas de 850 Mhz y 1900 Mhz.

En las guías de laboratorio parte A se logró explicar el uso de las herramientas Netimizer DML, conectar los teléfonos y realizar mediciones en ambientes Indoor y Outdoor para los servicios en modo Idle, Long Call, Short Call, DL (Bajada de Datos) y UL (Subida de Datos). En la parte B se logra explicar cómo se procesan los logs obtenidos en las mediciones de campo Indoor con la herramienta Netimizer DMA y las mediciones Outdoor con Actix Analyzer para analizar los eventos de: Fallas de acceso, Fallas de retenebilidad de llamadas, Vecinas no declaradas, Sobre propagación, Congestión, Huecos de cobertura, Falla de handover y Pilot Pollution los cuales causan las degradaciones de cobertura y calidad.

Las guías de laboratorio fueron evaluadas por estudiantes de 4to y 5to año de las carreras de ingeniería electrónica y telecomunicaciones para hacer una retroalimentación con objetivo de mejorar dichas guías en donde los estudiantes presentaron dificultad de interpretación, hasta lograr que sean lo más clara y de hacer uso de un instructor solo en ocasiones para realizar consultas.

Los estudiantes mostraron mucho interés en las guías debido a que pudo aterrizar lo aprendido en salón de clase a la práctica mejorando su formación profesional y expresaron estar interesados seguir investigando sobre el tema porque les puede ser mucha utilidad en el mundo laboral.



5.6 Recomendaciones

Se recomienda considerar para futuros trabajos hacer trabajos similares en donde se abarcan las tecnologías GSM y LTE las cuales se encuentra en operación actualmente en el país.

Por el poco número de participantes en la validación de las guías, se recomienda continuar el proceso de validación una vez las guías estén siendo utilizadas por los estudiantes de las carreras de ingeniería electrónica y telecomunicaciones en las clases de radio comunicaciones y comunicaciones móviles respectivamente.

Durante las validaciones de la guías de laboratorio se realizó mediciones en ambiente Indoor y Outdoor en el edificio Rigoberto López Pérez de la UNI y se observó que la operadora Claro tiene mejores niveles de cobertura y calidad en comparación a Movistar por lo que se recomienda realizar un trabajo para explicar porque una operadora tiene mejores niveles que la otra.

Se recomienda la adquisición por parte de la universidad la compra de teléfonos móviles con procesadores Qualcomm ya que solo este tipo de teléfonos son reconocidos por la herramienta Netimizer DML, también se deben de adquirir GPS tipo BU-353 USB.

Es recomendable adquirir por parte de la universidad la licencia de la herramienta Actix Analyzer, para realizar las guías se consiguió una licencia Demo validad solo por un mes.

Como trabajos complementarios se recomienda hacer investigaciones sobre las auditorias de parámetros lógicos y revisión de alarmas para WCDMA, debido a que en este documento solo se abordan de manera superficial.



Referencias

- [1] «Real Academia Española,» [En línea]. Available: <http://dle.rae.es/?id=MjESnb2>. [Último acceso: 20 Diciembre 2015].
- [2] N. V. & I. Garcia, «Trabajo monografico: Diseño de una estacion base para su integracion en una red celular basadas en las tecnologias GSM/UMTS,» Managua, 2014.
- [3] H. E. M. TRUJILLO, «PARTICIPACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN DE UNA RED UMTS,» 17 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1324/Tesis.pdf?sequence=1>.
- [4] «STI,» 3 diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://spire-technology.com/introduction-to-netimizer.html>.
- [5] «livingstonrental,» [En línea]. Available: http://www.livingstonrental.es/p_actix/telecomunicaciones-radiocomunicaciones/drive-test-medidas-de-cobertura/actix-analyzer/. [Último acceso: 14 Julio 2016].
- [6] I. Modernana, «Informatica Modernana.com,» [En línea]. Available: http://www.informaticamoderna.com/Antena_indoor.htm. [Último acceso: 25 07 2016].
- [7] L. V. & L. Perez, «Procedimiento de optimizacion enredes de acceso WCDMA/HPDA y su efectividad en casos de estudio en Nicaragua,» Mnagua, 2015.
- [8] 3GPP, «Technical Specification Group Radio Access Network;Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);User Equipment (UE) procedures in idle mode,» 2008.
- [9] D. R. V. CAICHO, Trabajo fin de master:Planificación y Optimización de Redes Móviles con Herramientas de Software Libre, Valencia , 2013.
- [10] I. E. Velarde, «Introducción a UMTS,» 15 diciembre 2014. [En línea]. Available: http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/Telecomunicaciones/ing_com_inalam/modulo3/Introduccion%20a%20UMTS.pdf.
- [11] J. Minango, «Monitorización del interfaz aire de las operadoras móviles en la E.S.P.E para determinar la QoS,» 16 Marzo 2015. [En línea]. Available: http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitio_congreso_2011/papers/E3.pdf.
- [12] C. moviles, «Teoria de las comunicaciones moviles capitulo 11,» 15 Marzo 2015. [En línea]. Available: http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles/contenidos/Tr_11.pdf.
- [13] «Informatica,» 15 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.informatica-hoy.com.ar/telefonos-celulares/La-historia-del-Telefono-Celular.php>.



- [14] learntelecom, «GSM: PHYSICAL & LOGICAL CHANNELS,» 20 Junio 2015. [En línea]. Available: http://learntelecom.com/files/GSM-PHYSICAL_AND_LOGICAL_CHANNELS.pdf.
- [15] Anonimo, «Hacia la tercera generacion de los sistemas de comunicaciones moviles,» 15 Julio 2015. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/tecuanhuehue_r_j/capitulo1.pdf.
- [16] C. Rodriguez, «Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua,» Managua, 2013.
- [17] Anonimo, «Aspecto Generales del Sistema de Telfonia Movil UMTS de Tercera Generacion,» [En línea]. Available: <http://www.tierradelazaro.com/cripto/UMTS.pdf>. [Último acceso: 01 Abril 2016].
- [18] Anonimo, «Metodos para el aumento de la capacidad umts en atoll,» 29 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11744/fichero/Capitulo2%252Fcapitulo2.pdf>.
- [19] «telecomhall,» 29 julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.telecomhall.com/what-is-rake-receiver.aspx>.
- [20] Anonimo, «Estrutura de la Red UNTS,» 6 AGOSTO 2015. [En línea].
- [21] <http://biblioweb.ufg.edu.sv/virtual/index.cgi?idregistro=10638&tipologia=1&vista=C&busqueda=estudio+y+planeacion+para+la+migracion+de>, «biblioweb,» [En línea]. Available: <http://biblioweb.ufg.edu.sv/virtual/index.cgi?idregistro=10638&tipologia=1&vista=C&busqueda=estudio+y+planeacion+para+la+migracion+de>. [Último acceso: 02 Agosto 2015].
- [22] about, «about,» [En línea]. Available: <http://celulares.about.com/od/Smartphones/ss/Parametros-Reales-Para-Identificar-Gamas-De-Los-Celulares.htm>. [Último acceso: 8 agosto 2016].
- [23] telcor, «telcor,» [En línea]. Available: <http://www.telcor.gob.ni/>. [Último acceso: 5 2 2016].
- [24] M. G. F. GUANGA, «“ESTUDIO TÉCNICO PARA LA RECOMENDACIÓN DE LOS,» SANGOLQUÍ-ECUADOR, 20.
- [25] maximintegrated, «maximintegrated,» [En línea]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en.html>. [Último acceso: 13 Agosto 2016].



Anexos: Guías de laboratorio